LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

La **Houille noire** *a fait l'Industrie moderne ;*
la **Houille blanche** *la transformera.*

Juillet 1902. — N° 3.

Le Congrès de la Houille blanche

Le Syndicat des Propriétaires et Industriels possédant ou exploitant des forces motrices hydrauliques, dont le siège social est à Grenoble, place du Lycée, 2, organise pour les premiers jours du mois de septembre, un Congrès qui éveillera dans le monde scientifique, industriel et juridique, un très vif intérêt.

Le Syndicat se propose de faire traiter, avec un esprit d'éclectisme qui donnera place à toutes les opinions, les questions qui se rattachent à la législation, à la mise en œuvre et à l'utilisation industrielle des forces hydrauliques.

Déjà le concours de personnalités éminentes dans chacun de ces ordres d'études est acquis au Syndicat, et l'empressement des conférenciers qui, les premiers, ont promis leur concours, laisse assez présager que les démarehes actuellement poursuivies auprès d'autres spécialistes recevront le même accueil.

Son programme, mûrement élaboré, vise à imprimer à toutes les opérations de ce Congrès un caractère nettement utilitaire et pratique. Ses travaux seront donc très sérieux et des plus instructifs, et, au moment où le régime des cours d'eau est en discussion devant le Parlement, le libre exposé d'idées que le syndicat veut provoquer sera une heureuse préparation aux débats des Chambres.

Un intérêt général et social non moins grand s'attache d'ailleurs à ce Congrès, puisque les forces hydrauliques sont les auxiliaires de la fée du siècle : l'Electricité, dont l'Industrie recevra sa transformation et dont la région des Alpes, et spécialement la ville de Grenoble attendent leur épanouissement et leur prospérité.

Le Syndicat des Forces hydrauliques a voulu aller au-delà du programme que nous venons d'indiquer à grands traits; et, dans le but de joindre les leçons de choses aux exposés de doctrines, il organise une série d'excursions dans les vallées industrielles de la région Dauphino-Savoisienne, avec des visites aux principales usines empruntant leur force à la désormais célèbre « Houille blanche », visites qui, en cette circonstance, offriront un intérêt documentaire exceptionnel.

* * *

Le Syndicat estimant qu'il serait cruel de diriger vers la capitale des Alpes françaises un flot de visiteurs, sans leur faciliter l'accès des sites les plus pittoresques de ces montagnes, a ajouté aux visites de chutes et d'usines, des excursions dans les plus belles régions alpestres. C'est ainsi que les membres du Congrès auront la faculté de parcourir l'Oisans, la Maurienne, la Tarentaise, la Mateysine, le Grésivaudan, le Galibier, la vallée de l'Arve jusqu'à Chamonix, la vallée d'Annecy, et même, après cette floraison de sommets et de vallées, une partie de la Suisse, avec visite aux travaux du Simplon.

Et tout cela est organisé méthodiquement, avec le concours des Syndicats d'Initiative du Dauphiné et de la Savoie ; c'est dire que les congressistes pourront, à leur gré, opter pour les groupes d'excursions qui leur plairont davantage et qu'ils n'auront plus ensuite qu'à se laisser guider par les organisateurs dévoués et actifs, qui sauront prévoir tous leurs désirs.

Les entrepreneurs de transports et les hôteliers de la région ont promis de se surpasser ; des réductions de prix de 50 % sont obtenues déjà de la Compagnie P.-L.-M. et l'on espère que les autres compagnies accorderont les mêmes faveurs; les compagnies de chemins de fer et de tramways locaux ont également offert toutes les facilités demandées.

* * *

Ce Congrès, aux excursions duquel les familles pourront être admises, aura certainement un vif succès; aussi, sommes-nous convaincus que les congressistes emporteront la satisfaction d'avoir travaillé à une œuvre dont la prospérité nationale et régionale attend beaucoup, et qu'ils conserveront le souvenir d'excursions délicieuses dans un pays aux sites impressionnants et enchanteurs.

« Le Syndicat des Propriétaires et Industriels possédant ou exploitant des forces motrices hydrauliques » adressera aux personnes que cela intéresse, tous les document utiles pour être admis au Congrès. Ces documents présenteront l'ordre des questions traitées, les noms des conférenciers et, en ce qui concerne les visites et les excursions, le détail des déplacements avec le coût très approché de chacun.

Les travaux du Congrès auront lieu du 6 au 13 septembre et les excursions, pour les Congressistes qui voudront profiter du voyage Suisse-Simplon, se prolongeront jusqu'au 17.

Nous publierons nous-mêmes, au surplus, dans notre numéro d'août, le programme complet du Congrès et des excursions.

La Rédaction

MÉTHODE GRAPHIQUE

POUR LE

Calcul des lignes à courants alternatifs

Le diagramme représentatif des transports par courants alternatifs est représenté par la figure ci-dessous :

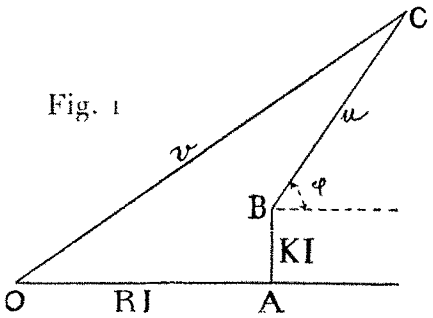


Fig. 1

où (1)

v = tension simple au départ = 1/2 de la tension composée.
u = » » à l'arrivée = 1/2 » »
φ = décalage des appareils récepteurs.
R = résistance ohmique d'un fil de ligne.
K = réactance d'un fil de ligne = $L\omega$.

D'autre part, **R** et **L** sont proportionnels à la longueur de la ligne et en désignant par R_1 et L_1 la résistance et la self-induction kilométriques, on a :

$$R_1 = \frac{\rho}{s} = \frac{4\rho}{\pi d^2} \qquad \rho \text{ résistivité du cuivre. } \quad d \text{ diamètre de la ligue.}$$

$$L_1 = \frac{649.1 - 460.52 \ \log. \frac{d}{D}}{10^6} \qquad D \text{ intervalle des fils de ligne.}$$

On voit immédiatement que R_1 et $K_1 = L_1\omega$ (réactance kilométrique) ne dépendent que de **d**, **D** et ω (pulsation du courant), ρ étant choisi pour une qualité de cuivre donnée, à une température déterminée.

Mais, en pratique. **D** s'écarte peu de 0 m. 70 et la fréquence ordinairement usitée est de 50 périodes par seconde.

On peut donc considérer le diamètre des fils comme seul variable et l'on voit qu'à chaque valeur de **d** correspond une valeur de R_1 et de K_1 et par suite un rayon vecteur **OB** dont l'inclinaison sur **OA** est défini par la relation :

$$\text{Tg}\ \alpha = \frac{K_1}{R_1} = \frac{L_1\omega}{R_1}$$

Supposons tracé un faisceau de vecteurs correspondant à des valeurs de **d** croissant par exemple de millimètre en millimètre, ces valeurs de **d** figurant dans le prolongement des vecteurs, avec les valeurs correspondantes de R_1.

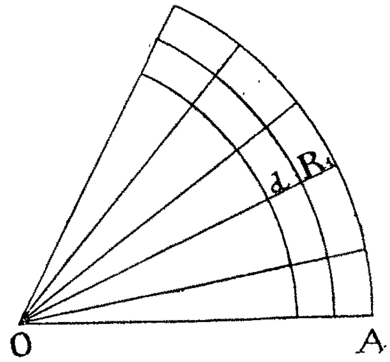


Fig. 2

On pourra, avec ce *rapporteur d'α* (1), résoudre très simplement, à l'aide de la règle et du compas, les diverses questions qui peuvent se poser à l'occasion de l'établissement des lignes de transport à courants alternatifs.

Prenons des exemples :

1° Quelle puissance pourra-t-on recueillir à l'extrémité d'une ligne de transport déterminée, si les appareils récepteurs fonctionnent sous un régime déterminé (**u**, φ), *la perte de charge consentie étant de* $\frac{p}{100}$?

Les données sont **d**, **l**, **u**, cos. φ, $\frac{v-u}{v} = \frac{p}{100}$.

Il en résulte que le vecteur α est déterminé.

D'autre part, si on construit le parallélogramme **OCBS**, (fig. 3) on voit que le point **S** est fixe puisque **u** est connu en grandeur et en direction. Donc le point **B** est déterminé par l'intersection du vecteur α avec la circonférence décrite de **S** comme centre avec **v** pour rayon. $\left(v = u\ \frac{100}{100-p}\right)$

Abaissons les perpendiculaires **BA** et **ST** sur **OA**. La puissance simple recueillie :

$$w_B = u \cos. \varphi \times I = \frac{OT \times OA}{R} = \frac{OT \times OA}{R_1 l}$$

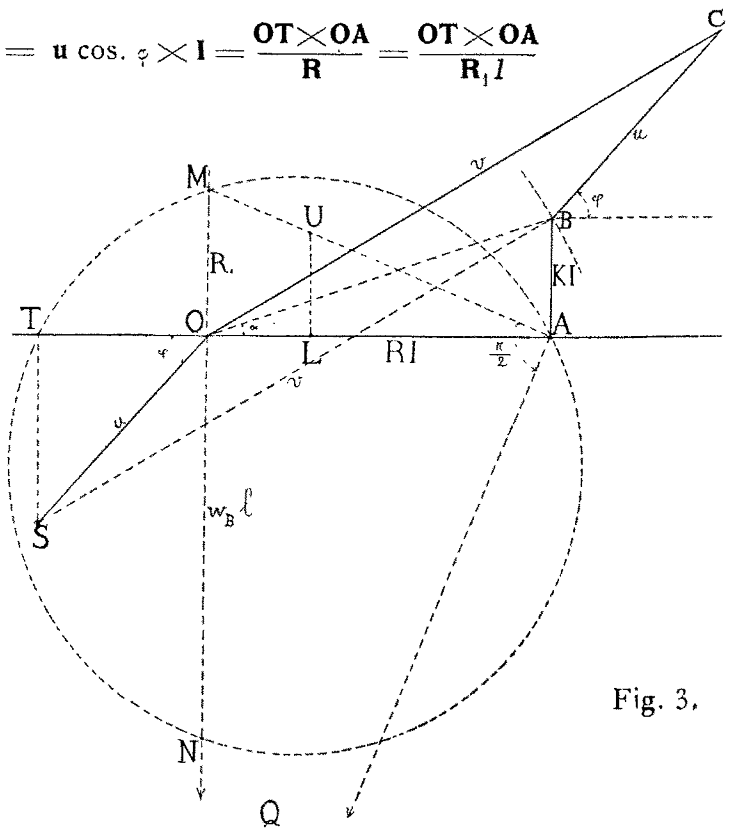


Fig. 3.

---

(1) Nous avons adopté les mêmes notations que MM. Pionchon, Directeur de l'Institut Électrotechnique de Grenoble et Heilmann, Ingénieur de la Société Grenobloise de Force et Lumière, dans leur « Guide pratique pour le calcul des lignes à courants alternatifs ».

Le procédé que nous allons indiquer n'est d'ailleurs que la *traduction graphique* de la méthode exposée dans cet ouvrage, qui conduit à l'emploi de tables ou d'abaques.

Les deux systèmes (tables ou graphiques), appliqués à divers exemples, nous ont donné des résultats à peu près identiques.

(1) Ce rapporteur pourrait même comporter, au droit de chaque vecteur, des valeurs de **d** et R_1 correspondant à diverses fréquences, ce qui généraliserait encore son emploi.

Mais le rapporteur donne $\mathbf{R_1}$. Il suffit par suite de prendre $\mathbf{OM} = \mathbf{R_1}$ et de tracer la circonférence **TMA**.

On obtiendra ainsi **ON** et par suite $\mathbf{w_B}$ puisque :

$$\mathbf{ON} \times \mathbf{R_1} = \mathbf{OT} \times \mathbf{OA} = \mathbf{R_1\,l\,w_B} \text{ et } \mathbf{w_B} = \frac{\mathbf{ON}}{l}$$

Tous les autres facteurs de l'installation sont également déterminés. Ainsi :

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{OA}}{\mathbf{R_1}l} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{LU}}, \text{ en prenant } \mathbf{AL} = l.$$

Et si le transport est, par exemple, monophasé :

$$\mathbf{P_p} \text{ (puissance perdue)} = \mathbf{2RI^2} = \frac{\mathbf{2\overline{OA}^2}}{\mathbf{R_1}l} = \frac{\mathbf{OQ}}{\frac{l}{\mathbf{2}}}$$

$$\mathbf{P_t} \left(\substack{\text{puissance}\\\text{transmise}}\right) = \mathbf{P_p} + \mathbf{P_r} \left(\substack{\text{puissance}\\\text{recueillie}}\right) = \frac{\mathbf{ON + OQ}}{\frac{l}{\mathbf{2}}} = \mathbf{2\,w_B}$$

$$\text{Rendement du transport} = \frac{\mathbf{P_r}}{\mathbf{P_t}} = \frac{\mathbf{ON}}{\mathbf{ON + OQ}}$$

2° Etant donnée une ligne de transport, quelle devra être la tension au départ pour recueillir à l'extrémité une puissance désirée, dans des appareils récepteurs fonctionnant sous un régime déterminé $(\mathbf{u}, \varphi)$?

Données : $\mathbf{d}$, $\mathbf{l}$, $\mathbf{u}$, cos. φ, $\mathbf{w_B}$.

Le vecteur x est donc déterminé

D'autre part, le rapporteur donne $\mathbf{R_1}$ et les points **M, T, N,** de la figure précédente sont déterminés, de même que le point **S.**

Il suffit donc de tracer la circonférence **MTN** pour avoir le point **A** et par suite la tension cherchée **SB.**

Tous les autres éléments de l'installation s'en déduisent.

3° Etant donnée une station génératrice branchée sur une ligne de transport de diamètre déterminé, à quelle distance pourra-t-on recueillir une puissance désirée sous une tension et un décalage donnés, en consentant une perte de tension donnée ?

Données : $\mathbf{d}$, $\mathbf{u}$, cos. φ, $\frac{\mathbf{v - u}}{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{100}}$, $\mathbf{w_B}$:

Le vecteur x est encore déterminé et ce cas ne diffère du N° 1 qu'en ce fait, que c'est l et non $\mathbf{w_B}$ qu'il convient de tirer de la relation $\mathbf{w_B} = \frac{\mathbf{ON}}{l}$.

$$\text{On en déduit } l = \frac{\mathbf{ON}}{\mathbf{w_B}}.$$

4° Etant donnée une station réceptrice dont les appareils fonctionnent sous un régime déterminé $(\mathbf{u}, \varphi)$. *quel diamètre faudra-t-il donner aux fils d'une ligne de transport de longueur donnée, pour recueillir à l'arrivée une puissance déterminée, la perte de charge consentie étant de* $\frac{\mathbf{p}}{\mathbf{100}}$?

Données : $\mathbf{l}$, $\mathbf{u}$, cos. φ, $\mathbf{w_B}$, $\frac{\mathbf{v - u}}{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{100}}$.

C'est le vecteur x qu'il faut ici déterminer.

En se reportant à la fig. 3, on voit que les points **N** et **T** sont déterminés, de même que le point **S**, mais ni **A** ni **M** ne le sont.

Revenons au faisceau de la fig. 2, sur lequel nous reportons ci-après les constructions utiles de la fig. 3.

La question se pose de la manière suivante : Trouver sur la circonférence de centre **S** (fig. 4) et de rayon **v**, un point **B** tel qu'en projetant **BA** et traçant la circonférence **T, N, A,** la distance **OM** ainsi déterminée soit égale à la valeur de $\mathbf{R_1}$ lue sur le rapporteur en regard du vecteur **OB.**

En choisissant successivement quelques-uns des points **B**, $\mathbf{B_1}$ $\mathbf{B_2}$..., il suffira évidemment de quelques tâtonnements pour obtenir ce résultat.

Tous les autres éléments de l'installation s'en déduiront comme précédemment.

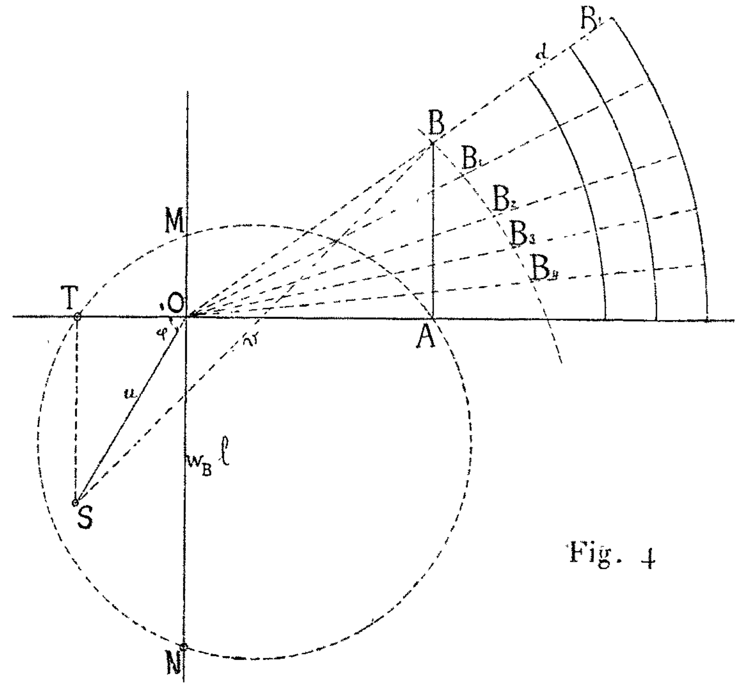


Fig. 4

5° Etant donnée une station génératrice qui fonctionne sous une tension donnée et branchée sur une ligne de transport déterminée, sous quelle tension sera disponible à l'extrémité une puissance désirée ?

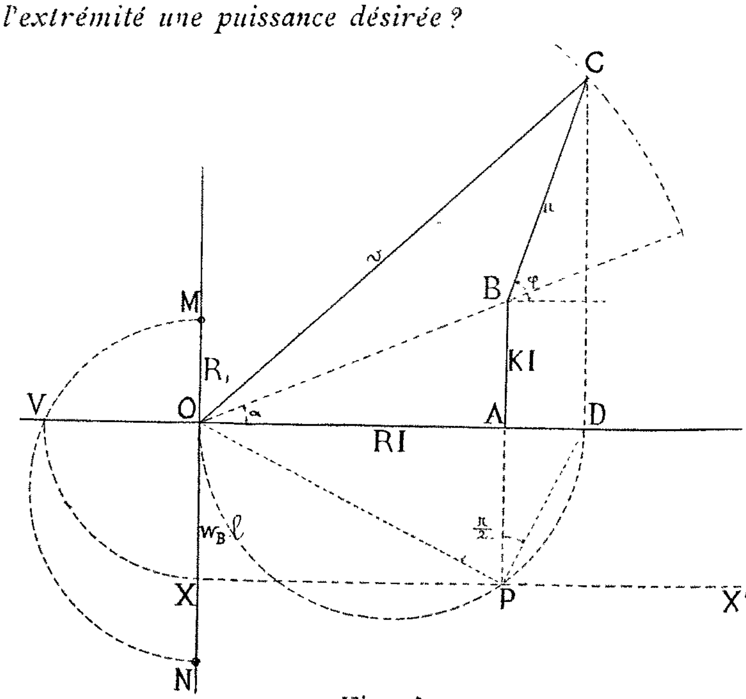


Fig. 5

Données : $\mathbf{v}$, $\mathbf{l}$, $\mathbf{d}$, cos. φ, $\mathbf{w_B}$.

Ici, le vecteur x est déterminé, mais des quatre points **N, M, T, A,** on connaît seulement les deux premiers.

Dans la figure 5 projetons le point **C** sur **OA** et prolongeons **BA** jusqu'à sa rencontre avec la circonférence décrite sur **OD** comme diamètre. On a :

$$\overline{AP^2} = OA \times AD = Rl u \cos. \varphi = Rw_B = R_1 w_B l =$$
$$= OM \times ON = \overline{OV^2}$$

Donc **AP** = **OV** et si l'on trace la circonférence de centre **O** et de rayon connu **v**, la question se pose de la manière suivante : Trouver une droite de direction donnée (φ) telle que le segment **CB**, intercepté entre la circonférence **v** et le vecteur α, détermine par sa projection sur **OA**, accompagnée d'une circonférence décrite sur **OD** comme diamètre, une distance **AP** égale à **OV** : ou bien, si l'on rabat **OV** et que l'on trace la parallèle **XX'** à **OA**, telle que le point **P** se trouve à l'intersection de cette parallèle avec la circonférence.

Il est clair qu'il suffira de quelques tâtonnements (1) pour obtenir ce résultat.

— Le problème peut être résolu d'une autre manière en remarquant que l'angle **OPD** est droit.

Si on fait cheminer le point **P** sur la droite **XX'** le point **D** est déterminé par la perpendiculaire **PD** à **OP**. On trace **PB**, puis de **B** la droite de direction φ, et cette droite doit rencontrer la perpendiculaire en **D** à **OA**, sur la circonférence de rayon **v**.

Quelques tâtonnements suffiront pour y parvenir.

La question ainsi posée permet de simplifier une discussion intéressante que soulève ce cas particulier.

On voit en effet que la solution cherchée ne peut exister, que si le lieu géométrique du point **C** correspondant aux diverses positions du point **P** sur la droite **XX'** coupe la circonférence de centre **O** et de rayon **v**.

Or on peut écrire (fig. 6) :

$$OA \times AD = (OD - AD)\, AD = (x - AD) AD = \overline{AP^2} = \overline{OV^2}$$

$$AD = BE = \frac{CE}{Tg. \varphi} = \frac{CD - AB}{Tg. \varphi} = \frac{y - OA \; Tg. \alpha}{Tg. \varphi} =$$
$$= \frac{y - (x - AD) \; Tg \; \alpha}{Tg. \varphi}$$

D'où $$(x - AD) \; AD = \overline{OV^2}$$

$$AD \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha) = y - x \; Tg. \alpha$$

et $$\left(x - \frac{y - x \; Tg. \alpha}{Tg. \varphi - Tg. \alpha}\right) \frac{y - x \; Tg. \alpha}{Tg. \varphi - Tg. \alpha} = \overline{OV^2}$$

$$(x \; Tg. \varphi - y) \; (y - x \; Tg. \alpha) = \overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2$$

Le lieu géometrique du point **C** est donc une hyperbole, dont les asymptotes sont les vecteurs φ et α et dont le grand axe est la bissectrice de ces deux vecteurs.

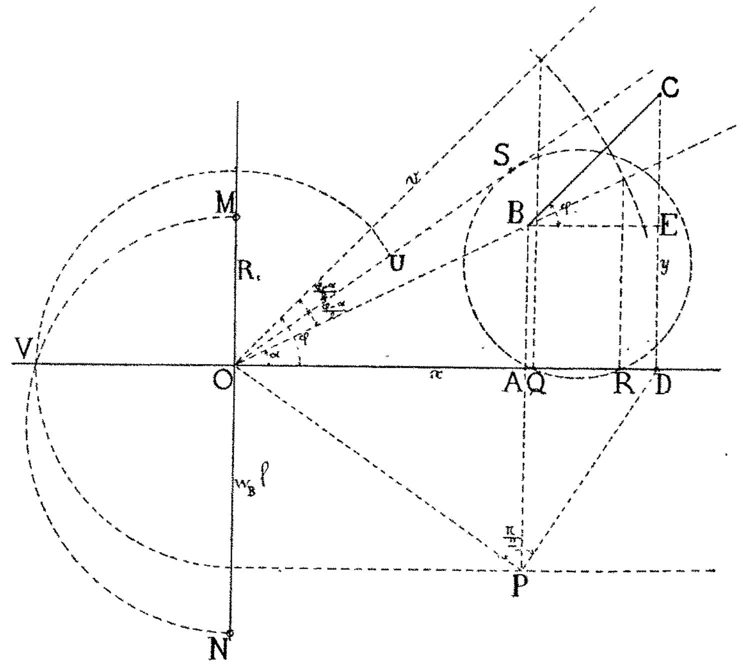


Fig. 6

L'intersection de cette hyperbole avec le grand axe $y = x \; Tg. \frac{\varphi + \alpha}{2}$, résulte de l'équation :

$$\left(x \; Tg. \varphi - x \; Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \left(x \; Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2} - x \; Tg. \alpha\right) =$$
$$= \overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2$$

$$x^2 = \frac{\overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2}{\left(Tg. \varphi - Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \left(Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2} - Tg. \alpha\right)}$$

et le carré du demi grand axe est par suite égal à :

$$\frac{\overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2}{\left(Tg. \varphi - Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \left(Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2} - Tg. \alpha\right)} \left(1 + Tg.^2 \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) =$$
$$= \frac{\overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2}{\cos.^2 \frac{\varphi+\alpha}{2} \left(Tg. \varphi - Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \left(Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2} - Tg. \alpha\right)}$$

De telle sorte que la condition de possibilité cherchée est définie par l'inégalité :

$$\frac{\overline{OV^2} \; (Tg. \varphi - Tg. \alpha)^2}{\cos.^2 \frac{\varphi+\alpha}{2} \left(Tg. \varphi - Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \left(Tg. \frac{\varphi+\alpha}{2} - Tg. \alpha\right)} \leqq v^2$$

qui, toutes transformations faites, se réduit à :

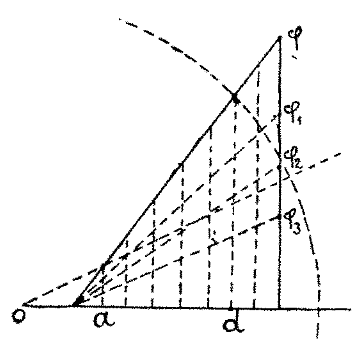
$$\overline{4 OV^2} \cos.^2 \frac{\varphi - \alpha}{2} \leqq v^2 \cos. \alpha \cos \varphi$$

ou bien, en tenant compte de ce que :

$$OV \cos. \frac{\varphi - \alpha}{2} = OU \qquad v \cos. \varphi = OQ \qquad v \cos. \alpha = OR$$

à : $\overline{2 \, OU^2} \leqq OQ \times OR$, et, d'une manière définitive, en

(1) Une équerre transparente pourvue de verticales et d'un faisceau de vecteurs φ donnera immédiatement les deux points **a** et **d**, par un simple glissement sur **AO**. On en déduira le point **p** et on n'aura plus qu'à vérifier si l'angle **opd** est droit.



traçant la circonférence **QRS** tangente à la bissectrice des vecteurs (α, φ), à :

$$2\,\overline{OU}^2 \leqq \overline{OS}^2 \qquad\qquad OU \leqq \frac{OS}{2}$$

La vérification préalable est donc des plus simples. Il suffit de tracer la bissectrice des vecteurs (α, φ) et de déterminer le point de tangence sur cette droite, de la circonférence passant par **Q**, **R**. Si on projette d'autre part sur cette bissectrice la droite **OV** rabattue au préalable sur le vecteur φ, la projection **U** de l'extrémité doit se trouver en deça du milieu de **OS**.

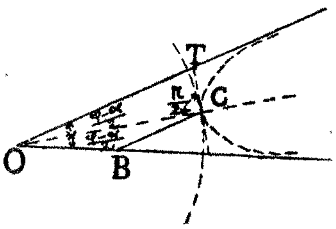
De ce qui précède, il résulte aussi que s'il existe une solution correspondant à un point **C**, il en existe une seconde correspondant au point **C'**, symétrique de **C** par rapport à la bissectrice (α, φ) (1).

Les deux solutions se confondent pour $OU = \frac{OS}{2}$, c'est-à-dire quand :

$$v^2 = \frac{4\,\overline{OV}^2 \cos.^2 \frac{\varphi-\alpha}{2}}{\cos.\,\varphi \,\cos\,\alpha} = \frac{4\,R_1\,w_B\,l \cos.^2 \frac{\varphi-\alpha}{2}}{\cos.\,\varphi\,\cos.\,\alpha}$$

$$v = 2 \cos. \frac{\varphi-\alpha}{2} \sqrt{\frac{R_1\,w_B\,l}{\cos.\,\varphi\,\cos.\,\alpha}} = 2 \cos. \frac{\varphi-\alpha}{2} \sqrt{\frac{w_B\,R}{\cos.\,\varphi\,\cos.\,\alpha}}$$

La valeur correspondante de **u** se déduit immédiatement de la figure ci-dessous :



$$u = CB = \frac{OT}{2} = \frac{v}{2 \cos. \frac{\varphi-\alpha}{2}} = \sqrt{\frac{R_1\,w_B\,l}{\cos.\,\varphi\,\cos.\,\alpha}} = \sqrt{\frac{w_B\,R}{\cos.\,\varphi\,\cos.\,\alpha}}$$

Il est facile de la déterminer géométriquement en se rappelant que $\overline{OV}^2 = R_1\,w_B\,l = w_B\,R$

D'où, fig. 7 :

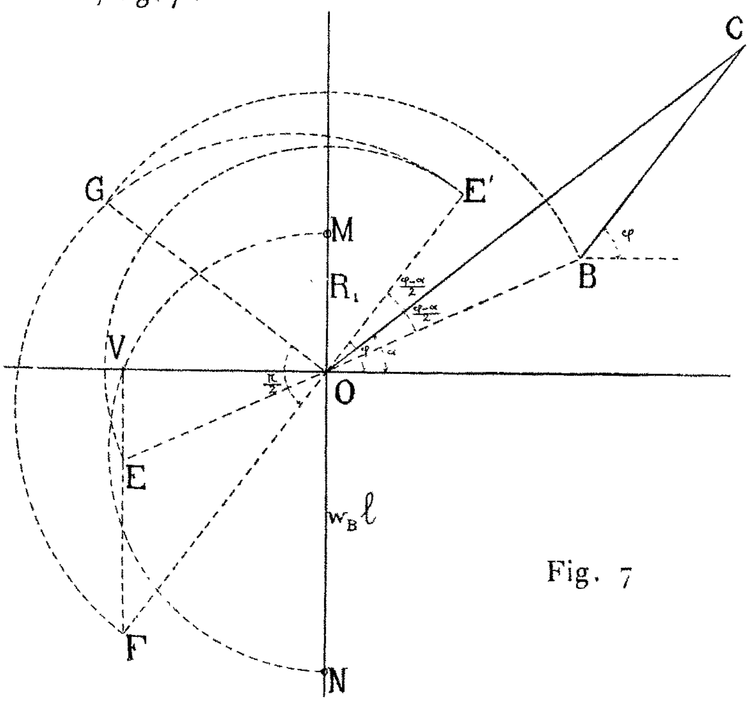


Fig. 7

(1) De ces deux solutions une seule est généralement pratique, la seconde conduisant à des densités de courant inadmissibles.

$$u^2 = \frac{\overline{OV}^2}{\cos.\,\alpha\,\cos.\,\varphi} = \frac{OV}{\cos.\,\alpha} \times \frac{OV}{\cos.\,\varphi} = OE \times OF = OE' \times OF = \overline{OG}^2$$

$$u = OG.$$

En rabattant **OG** sur **OB** et traçant de **B** la parallèle de direction φ jusqu'à sa rencontre avec la bissectrice des vecteurs (α, φ), on détermine la valeur minima **OC** de **v** qui rend le problème possible, et pour laquelle les deux valeurs de **u** sont confondues en une seule, égale à **OG** ou **BC** (1).

C'est un second moyen de vérification, puisque la valeur donnée de **v** doit être supérieure à la valeur ainsi déterminée de **OC**.

P. Dumas,

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Un moyen de dresser le Catalogue des chutes d'eau de France

« Ingénieurs, industriels..... travaillons surtout nous-« mêmes à l'œuvre dont nous voulons bénéficier », tels sont les termes du ralliement que M. Côte a cru devoir sonner dans le n° 1 de la *Houille Blanche,* à toutes les bonnes volontés que peut grouper l'étude des forces hydrauliques de notre pays.

Nous avons entendu cet appel et nous venons faire une proposition quant aux voies et moyens par lesquels se pourrait réaliser le catalogue si désiré de nos forces hydrauliques.

Dans les premières pages de son très remarquable ouvrage, M. R. Tavernier a tout naturellement proposé de charger de ce soin un nouveau cadre administratif, et il ne faut pas nous en étonner. N'est-ce pas une manière bien française de comprendre les choses ? Pourtant, quand on réfléchit aux résultats de la centralisation administrative dans les œuvres de notre pays, on se prend au désir d'essayer d'une autre solution.

Assurément, les travaux que ce nouveau rouage administratif produiraient seraient marqués au cachet de la probité scientifique la plus rigide et, par avance, sans aucune flatterie, on peut dire qu'une fois achevés ils constitueraient un monument impérissable.

Mais à quelle date verrait-on cet achèvement ? La besogne est complexe et, pour la mener promptement à terme, il faut un personnel considérable. Considérable aussi serait la dépense, et, sans faire aucune incursion dans la politique, il est à prévoir que l'Etat, malgré son bon vouloir indiscutable, ne trouvera pas les ressources nécessaires pour aboutir vite. Or, ce n'est pas dans un siècle que l'enquête doit aboutir, mais demain, après-demain au plus tard.

Et puis les résultats de ces travaux veulent être publiés pour avoir leur valeur vraie. Sans doute, l'Etat fait des

(1) Comme dans ce cas $BC = OB = ZI$ (Z impédance d'un fil de ligne), il en résulte que la tension à l'arrivee est égale à la chute de tension dans un fil de ligne.