

# CALCUL DU MOMENT D'INERTIE A DONNER AUX VOLANTS DES TURBINES HYDRAULIQUES

(SUITE ET FIN)

## ABAQUE RÉSUMANT NOTRE ÉTUDE

Il nous reste à résumer en un graphique les résultats de notre étude, de façon à permettre de résoudre rapidement les deux problèmes suivants :

1° Un groupe étant donné, ainsi que son volant, calculer l'écart de vitesse pour une variation de charge déterminée ;

2° Un groupe électrogène étant entièrement défini, à l'exception de son volant, déterminer celui-ci pour que l'écart de vitesse ne dépasse pas une valeur fixée pour une variation de charge déterminée.

Le graphique que nous avons établi, comprend (fig. 11) :

1° Un abaque à points alignés permettant de calculer graphiquement le rapport

$$k = \frac{\tau}{T} = \frac{\left(\frac{I \omega_0^2}{2 P_{\max}}\right)}{T} = \frac{(PD^2) N^2}{P_{\text{chv}} \times T} \times \frac{(2 \pi)^2}{9.81 \times 4 \times 60^{-2} \times 2 \times 75}$$

$$k = \frac{\tau}{T} = \frac{4}{540\,000} \frac{(PD^2) N^2}{P_{\text{cv}} \times T}$$

Dans cet abaque, nous avons, pour simplifier, considéré le terme  $\frac{(PD^2)}{P_{\max}}$  représentant le  $(PD^2)$  par cheval.

2° Sur le même graphique, nous avons porté en fonction de  $k$  les valeurs trouvées pour le maximum de  $\varepsilon$  dans les diverses hypothèses de variation de charge.

Nous avons choisi pour  $\varepsilon$  une échelle logarithmique de façon à avoir des courbes à peu près droites se prêtant bien à l'interpolation ou même à la rigueur à l'extrapolation.

### EXEMPLE

Supposons un groupe de 1.500 HP tournant à 500 tours par minute, ayant un  $(PD^2)$  total de 12.000 kg  $\times$  m<sup>2</sup> et muni d'un régulateur ouvrant ou fermant complètement le vanage en 6 secondes. l'abaque nous donne  $\frac{\tau}{T} = 0,655$  et nous avons les écarts de vitesse suivants :

}	Passage de 100 % de charge à		0 %	$\varepsilon = 29$ %
			0 %	à 100 % $\varepsilon = 21,5$ %
			75 %	à 0 % $\varepsilon = 17$ %
			100 %	à 25 % $\varepsilon = 16$ %
			0 %	à 75 % $\varepsilon = 14,5$ %
			25 %	à 100 % $\varepsilon = 13$ %
			50 %	à 0 % $\varepsilon = 8,5$ %
			0 %	à 50 % $\varepsilon = 8$ %
			100 %	à 50 % $\varepsilon = 7$ %
			50 %	à 100 % $\varepsilon = 6,2$ %
			25 %	à 0 % $\varepsilon = 2,3$ %
			0 %	à 25 % $\varepsilon = 2,1$ %
			75 %	à 100 % $\varepsilon = 1,9$ %
			100 %	à 75 % $\varepsilon = 1,8$ %

Les valeurs soulignées sont celles que le constructeur de turbines doit considérer pour les garanties de son marché.

Ces valeurs doivent, du reste, être légèrement majorées pour tenir compte du retard du régulateur ; nous indiquerons, plus loin, comment on peut déterminer cette majoration.

Le problème inverse, recherche du  $PD^2$  à donner au volant pour réaliser des conditions de réglage fixées, se résoud tout aussi simplement à l'aide de l'abaque de la fig. 11.

### COMPARAISON DES RÉSULTATS DU NOUVEAU CALCUL AVEC CEUX DE L'ANCIENNE FORMULE.

Reprenons la formule utilisée jusqu'à ce jour :

(1) Augmentations de charge  $\frac{1}{2} (\omega_0^2 - \omega_1^2) = \frac{1}{2} x^2 PT$

(2) Baisse de charge  $\frac{1}{2} (\omega_1^2 - \omega_0^2) = \frac{1}{2} x^2 PT$

si  $\varepsilon$  est la variation relative de vitesse  $\frac{\omega_1 - \omega_0}{\omega_0} = \varepsilon$ , il vient :

(1')  $\frac{1}{2} \omega_0^2 [1 - (1 - \varepsilon)^2] = \frac{1}{2} x^2 PT$

(2')  $\frac{1}{2} \omega_0^2 [(1 + \varepsilon)^2 - 1] = \frac{1}{2} x^2 PT$

d'où :

(1'')  $2\varepsilon - \varepsilon^2 = \frac{x^2 PT}{I \omega_0^2}$

(2'')  $2\varepsilon + \varepsilon^2 = \frac{x^2 PT}{I \omega_0^2}$

En faisant apparaître, comme dans notre nouvelle étude, le temps  $\tau$  de lancer à pleine puissance et le rapport  $k = \frac{\tau}{T}$  il vient :

(1''')  $2\varepsilon - \varepsilon^2 = \frac{x^2 T}{2\tau} = \frac{x^2}{2k}$

d'où :  $\varepsilon$  ralentissements  $= 1 - \sqrt{1 - \frac{x^2}{2k}}$

(2''')  $2\varepsilon + \varepsilon^2 = \frac{x^2 T}{2\tau} = \frac{x^2}{2k}$

d'où :  $\varepsilon$  emballements  $= -1 + \sqrt{1 + \frac{x^2}{2k}}$

Ici encore, nous arrivons à cette conclusion que : Pour une variation de charge donnée, l'écart de vitesse maximum dépend uniquement du rapport  $k = \frac{\tau}{T}$ .

En calculant pour diverses valeurs de  $k$  et de  $x$ , les valeurs de  $\varepsilon$  et en résumant les résultats dans un graphique analogue à celui de la fig. 11, nous avons obtenu le graphique de la fig. 12 qui, joint à l'abaque à points alignés de la fig. 11 donnant  $\frac{\tau}{T}$ , permet de résoudre tous les problèmes relatifs aux régimes troublés, en employant l'ancienne formule.

En comparant les deux graphiques (fig. 11 et fig. 12), on arrive aux conclusions suivantes :

1° L'ancienne formule donne des valeurs de  $\varepsilon$  plus fortes que la réalité, l'erreur étant d'ailleurs faible, si on considère de faibles décharges aboutissant à la marche à vide ;

2° En particulier, l'ancienne formule indique qu'une augmentation de charge produit un écart de vitesse  $\varepsilon$  négatif, plus grand que l'écart positif que produirait une baisse

Abaque pour le calcul des volants des Turbines hydrauliques.

N° de la courbe	Variations de charge.	
	de	a
I	100%	0%
II	0%	100%
III	75%	0%
IV	100%	25%
V	0%	75%
VI	25%	100%
VII	50%	0%
VIII	0%	50%
IX	100%	50%
X	50%	100%
XI	25%	0%
XII	0%	25%
XIII	100%	75%
XIV	75%	100%

Les courbes pleines se rapportent aux emballlements (décharges)

Les courbes pointillées se rapportent aux ralentissements (hausses de charge)

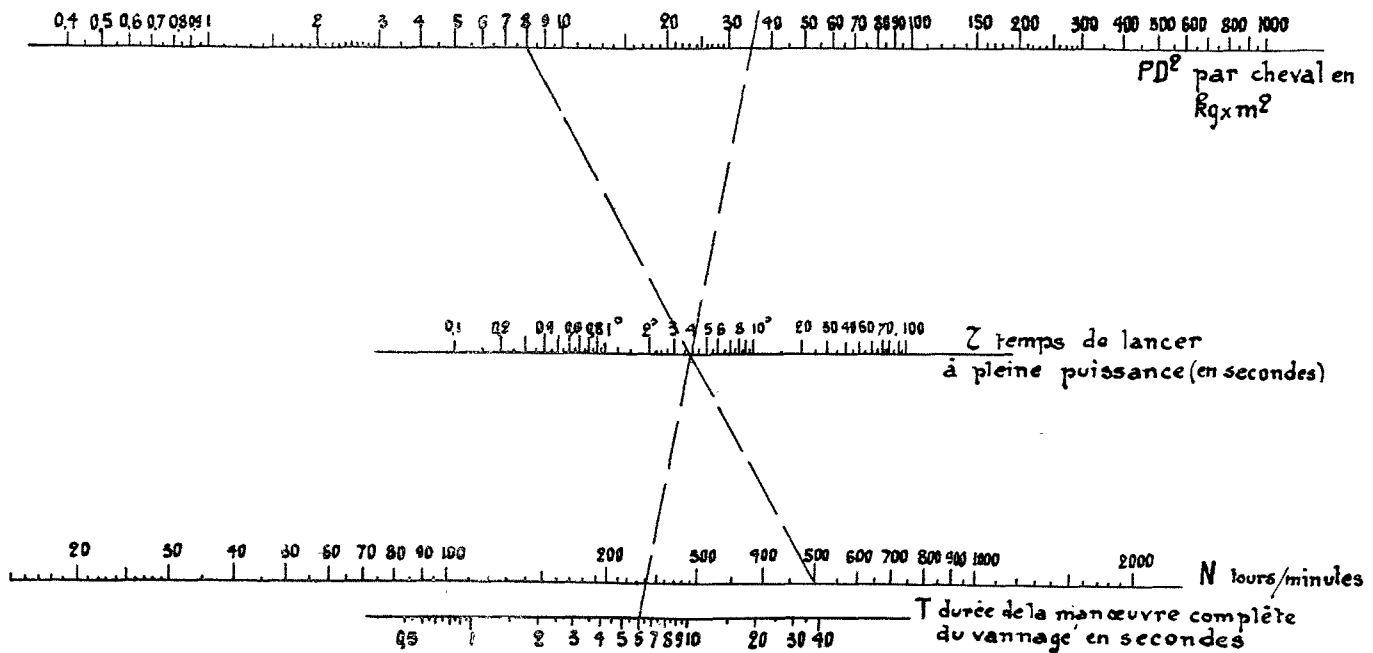
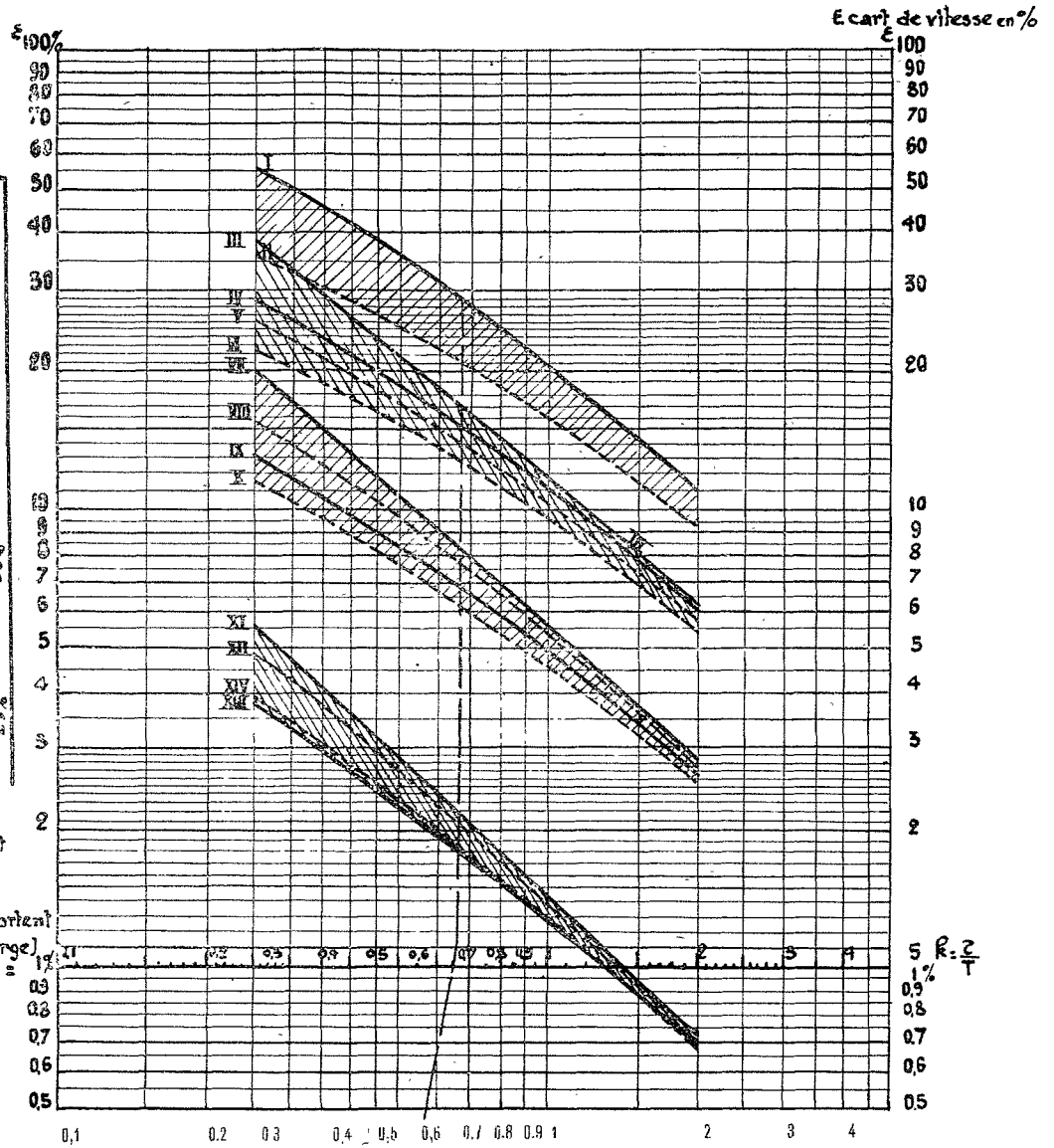
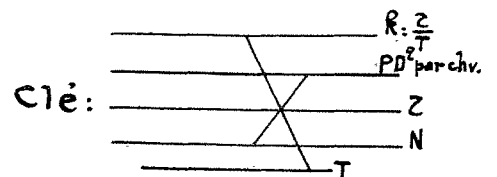


Fig. 11. — Graphique des écarts de vitesse en fonction du rapport  $\frac{z}{T}$  (Nouvelle méthode de calcul).



Ecart de vitesse en %

La valeur de  $\frac{\epsilon}{T}$  se calcule au moyen de l'abaque joint au nouveau graphique des écarts de vitesse.

Les courbes pleines se rapportent aux emballements (décharges)

Les courbes pointillées se rapportent aux ralentissements (baisse de charge)

$R = \frac{\epsilon}{T}$

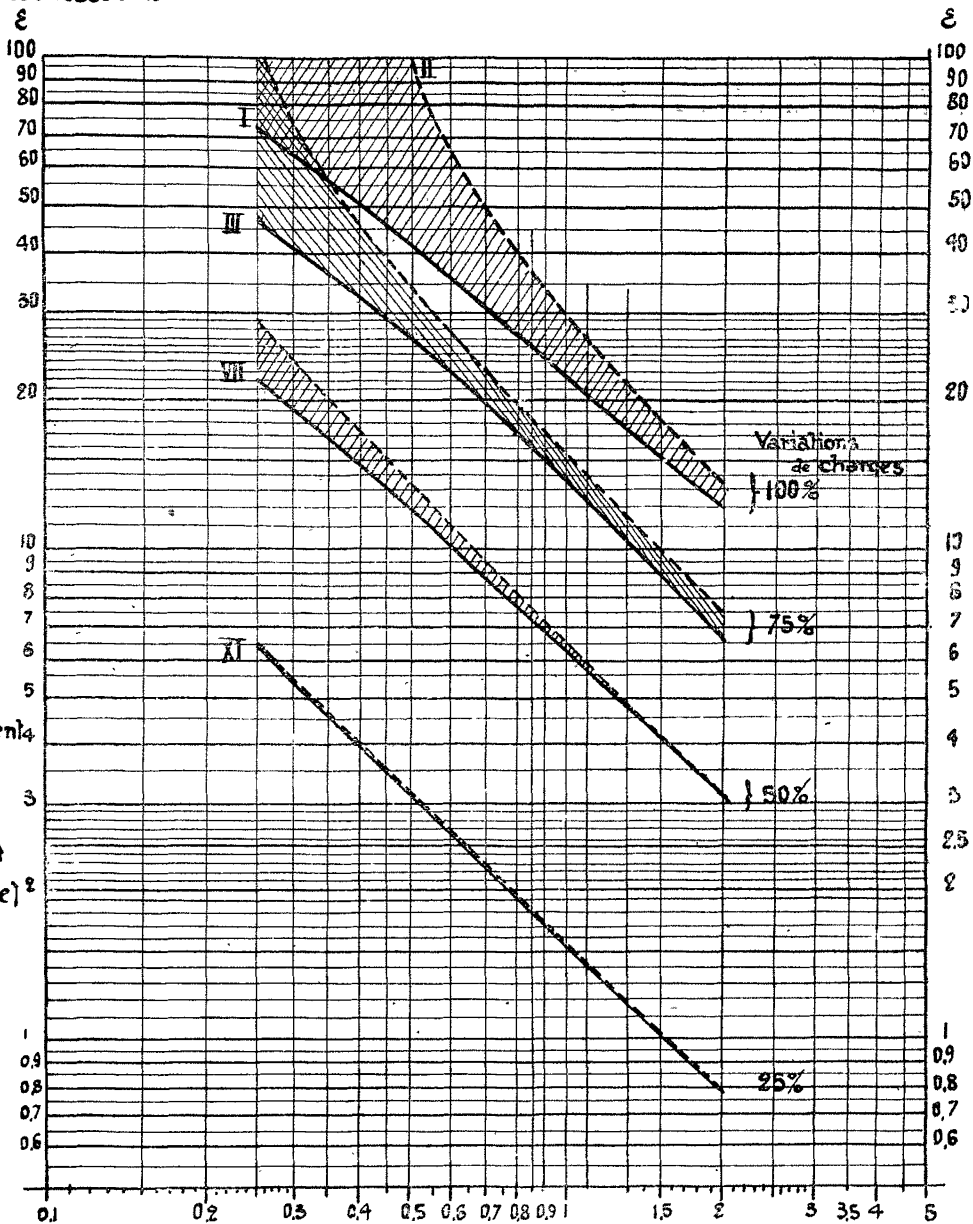


Fig. 12. — Graphique des écarts de vitesse en fonction du rapport  $\frac{\tau}{T}$  (Ancienne méthode de calcul).

de charge de même importance ; en réalité, c'est tout le contraire.

**INFLUENCE DU RETARD DU RÉGULATEUR**

Certains auteurs ont tenu compte du retard du régulateur, en donnant à ce retard une valeur constante, ils en ont déduit la majoration à faire subir au  $PD^2$ .

A notre avis, cette façon de faire n'est pas très logique ; en effet, le retard du régulateur est dû aux frottements et aux jeux, sa valeur exprimée en secondes n'est pas constante, elle est plus grande pour les faibles variations de charge que pour les grandes.

Il semble plus logique et, du reste, plus simple, de considérer que les frottements, les jeux, les recouvrements donnent au régulateur une certaine insensibilité de l'ordre de 0,25 % à 0,5 % dans les régulateurs modernes, laquelle insensibilité constante pour toutes les perturbations doit être ajoutée à toutes les valeurs trouvées pour  $\epsilon$ .

**CONCLUSION**

L'ancienne formule et le nouveau calcul se traduisent par deux abaques identiques comme facilité d'emploi.

L'ancienne formule, acceptable pour de faibles variations

de charge aboutissant à la marche à vide, donne des résultats erronés pour toutes les autres variations de charge.

Notre nouvel abaque de la fig. 11 permettra d'apprécier plus exactement ce qui se passe.

On voudra bien remarquer qu'il ne vise pas, lui non plus, à une rigueur absolue ; il néglige en particulier, l'influence du coup de bélier, influence qui pourrait se traduire par une petite correction additive.

Il se rapporte à un cas moyen et, pour une turbine très spéciale dont les courbes de couples  $C_m(\omega)$  ne sont pas des droites ou encore dans le cas de fermetures non linéaires, les résultats qu'il donne ne seraient plus applicables, mais la méthode subsisterait et le graphique couples-vitesses, vulgarisé par M. Barbillion, permettrait de résoudre facilement tous les problèmes nouveaux.

A ce point de vue, nous pensons que cette petite étude, si elle a réussi à mettre en relief le grand intérêt pratique de ce graphique, pourra rendre quelques services à tous ceux qui, soit comme constructeurs, soit comme exploitants, s'intéressent au fonctionnement des groupes électrogènes.

Grenoble, le 22 octobre 1919.

P. CAYÈRE.

Ingénieur A. M. et I. E. G.