

DIANÉMOMÈTRE,

PAR

MM. M. DEPREZ et JULES GARNIER,

Inventeurs.



But de l'instrument. — Le dianémomètre a pour but de résoudre facilement, rapidement et avec précision les principales questions de la distribution de la vapeur. Le tiroir étant conduit par un excentrique simple, une coulisse quelconque ou nos *systèmes Deprez*.

Théorie du dianémomètre. — L'équation générale du mouvement d'un tiroir conduit par un excentrique à bielle infinie est (fig. 1^{re}).

$$OB = x = r \sin (\omega + \alpha) \quad (1)$$

r étant le rayon de l'excentrique

ω » l'angle dont a tourné la manivelle motrice.

α » l'angle d'avance de l'excentrique.

x » l'écart du tiroir de sa position moyenne.

On sait, d'ailleurs, que toute distribution dont le mouvement est pris sur l'essieu moteur, donne pour le mouvement du tiroir une équation qui se ramène à l'équation (1) augmentée d'un terme de correction δ , dû à l'influence de l'obliquité des bielles. Dans les épures on néglige δ , mais avec le *dianémomètre* on peut en tenir compte, et on a alors rigoureusement la valeur de x :

$$x = r \sin (\omega + \alpha) + \delta.$$

Fig 1^a

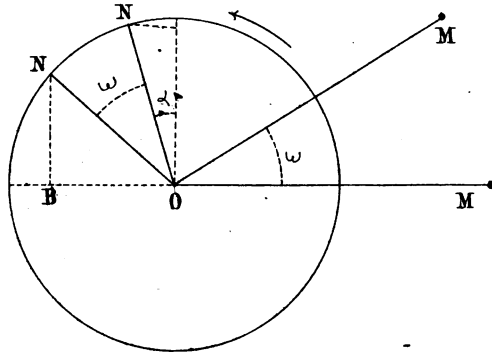
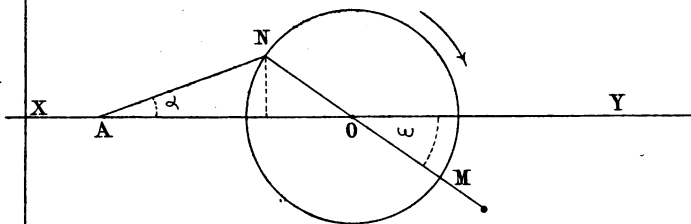


Fig 1^b



Si, dans (1) on fait $\omega = 0$, il vient

$$x = r \sin \alpha. \quad (2)$$

Remarquons que cette quantité est constante pour toute distribution par coulisse à *avance constante*, car elle est précisément égale à l'écart du tiroir de sa position moyenne, lorsque la manivelle motrice passe par le point mort, cet écart étant constant pour tous les crans de détente, et égal à la somme du recouvrement extérieur du tiroir et de l'avance linéaire à l'admission.

Ceci établi, traçons une circonférence (fig. 1^b), dont le rayon soit précisément égal à $r \sin \alpha$ (2), que nous connaissons de suite quand nous avons les dimensions du tiroir d'une machine. Prenons une position quelconque OM de la manivelle motrice et prolongeons celle-ci dans le sens ON, jusqu'à sa rencontre en N avec la circonférence tracée. — Projurons maintenant le point N sur l'axe XY (qui est celui de la tige du tiroir), par une ligne NA faisant avec XY un angle α , précisément égal à l'angle de calage; la distance AO est précisément égale à l'écart du tiroir donné par la formule :

$$x = r \sin (\omega + \alpha).$$

Nous avons, en effet :

$$\frac{AO}{NO} = \frac{\sin 180^\circ - (\omega + \alpha)}{\sin \alpha} \text{ ou } \frac{AO}{r \sin \alpha} = \frac{\sin (\omega + \alpha)}{\sin \alpha}$$

Enfin : $AO = x = r \sin (\omega + \alpha).$

Tel est le principe sur lequel repose le dianémomètre, au moyen duquel, étant donné le recouvrement extérieur d'un tiroir et l'avance linéaire à l'admission, on peut, comme on le verra, trouver toutes les phases d'une distribution. La ligne de projection NA y est représentée par une tige qui permet de projeter les positions N avec tous les angles d'avance qui seraient compris entre 0° et 90° et auxquels correspondrait soit un excentrique véritable, soit une position donnée d'un coulisseau dans sa coulisse.

Ainsi, d'une manière générale, pour un angle de projection α égal à l'angle d'avance, la projection NA vient toujours ren-

contrer, sur la direction suivant laquelle il se meut, le centre du tiroir ; pendant que le point N représente *l'opposé* de la situation de la manivelle motrice (que l'on peut traduire en angle par le moyen d'un rapporteur placé sur la règle). D'autre part, il est évident que la position ultime du tiroir à droite et à gauche de son centre d'oscillation O, correspond au cas où la projetante oblique AN devient tangente au cercle. — En un mot, on voit qu'avec l'instrument on a de suite la position du tiroir, connaissant celle de la manivelle, ou réciproquement.

Pour les coulisses à avance constante, les excentriques simples ou nos systèmes « Deprez », les résultats de marche d'une machine s'obtiennent de suite et avec une *rigoureuse exactitude*. Pour les coulisses à avance variable, $r \sin \alpha$, c'est-à-dire la somme du recouvrement et de l'avance linéaire, change avec chaque cran d'admission, et il faut, pour chacun d'eux, calculer la valeur nouvelle de l'avance ; en ajoutant celle-ci au recouvrement extérieur, on a le rayon $r \sin \alpha$ de la circonférence qui donnera toutes les phases de la distribution.

Avant d'entrer dans la description du « dianémomètre » lui-même et de donner la façon de s'en servir, nous répéterons les conclusions d'un rapport que M. Ch. Combes, membre de l'Académie des sciences, directeur de l'École des mines de Paris, a bien voulu en faire à la Société d'encouragement :

« L'instrument de MM. Marcel Deprez et Jules Garnier commence à se répandre dans les ateliers de construction. Les ingénieurs qui l'ont étudié reconnaissent son utilité, qui augmentera à mesure que les mécaniciens en comprendront mieux l'usage et auront pris l'habitude de s'en servir (1).

I. Description de la règle. — Cet instrument se compose, figure 1 ci-contre :

- 1° D'une glissière A se mouvant dans une coulisse B.
- 2° D'une réglette C pouvant pivoter autour d'un point fixe D.

(1) Voir aussi *Nouvelles études de la machine à vapeur*, par M. Ch. Combes. Dunod, éditeur. 1869. Paris.

Sur la règle on voit :

1° Un demi-cercle extérieur E divisé en degrés.

2° Un demi-cercle intérieur F, de 100 millimètres de diamètre, divisé en 100 parties, qui sont les positions d'une manivelle à chaque centième de sa course, la bielle étant supposée infinie : le diamètre du demi-cercle F représentera donc la course du piston.

3° De deux demi-ellipses ayant même grandeur et dont les petits axes sont : pour la première la moitié du grand axe, et pour la seconde le tiers.

II. Étude d'une distribution. — On a supposé, dans la construction de la règle, que le recouvrement extérieur du tiroir ajouté à l'avance linéaire donnait une somme constante et égale à 50 millimètres. Dans le cas général, désignons par r le recouvrement extérieur supposé le même des deux côtés, par a l'avance linéaire, et par k et k' les rapports $\frac{50}{r+a}$ et $\frac{r+a}{50}$.

Toutes les quantités linéaires (exprimées en millimètres), telles que recouvrement, ouverture maxima des lumières, course du tiroir, mesurées sur la machine devront être transportées sur la règle, après les avoir multipliées par $\frac{50}{r+a}$, et, au contraire, pour passer des longueurs lues sur l'échelle millimétrique de la règle aux quantités linéaires réelles qui se rapportent à la machine, il faudra les multiplier par $\frac{r+a}{50}$.

Pour fixer les idées, faisons :

$$r = 50 \text{ millimètres; } a = 5.$$

nous aurons :

$$\frac{50}{35} = 1,43 = k \text{ et } \frac{35}{50} = 0,7 = k'.$$

D'après ce que nous avons dit, les quantités qui sur la règle correspondront à r et à a seront :

$$r \times k \text{ et } a \times k,$$

ou bien ;

$$30 \times 1,43 \text{ et } 5 \times 1,43,$$

qui donnent respectivement sur la règle pour le recouvrement et l'avance 43 millimètres et 7 millimètres.

III. Orientation de la règlette C. — Pour connaître main-

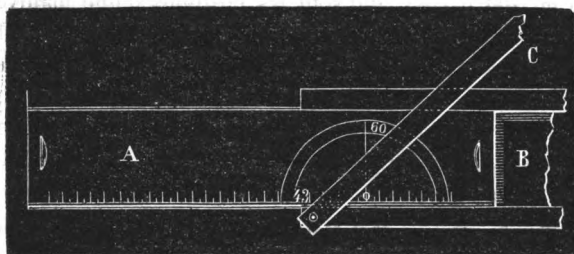


Fig. 2.

tenant tous les résultats de la distribution de l'exemple choisi et pour un cran quelconque, 60 pour 100 d'admission, par exemple, plaçons l'instrument dans la position de la figure 2 (1), la règlette passant exactement par 43 millimètres ($= r \times k$), à gauche du centre O et par la division 60 du demi-cercle intérieur; ceci fait, *ne touchons plus à la règlette C*, dont l'inclinaison va nous donner successivement toutes les conditions de la distribution.

IV. Mesure de la course du tiroir. — Faisons courir la glissière A jusqu'à ce que la règlette C soit tangente au demi-

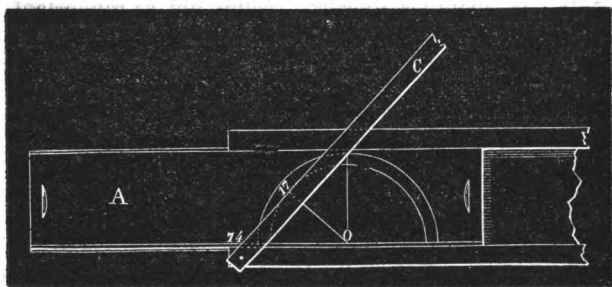


Fig. 3.

(1) La figure 1, représentant exactement l'instrument dans tous ses détails, les figures 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 ne sont plus que de simples croquis pour la démonstration.

cercle intérieur (fig. 3) et lisons, sur la ligne horizontale, la distance du zéro au point où la règle la coupe, nous trouvons 74 millimètres, c'est la demi-course; donc $74 \times 2 = 148$ = la course entière; donc $148 \times k'$ ou (dans ce cas),

$$148 \times 0,7 = 103,6 \text{ millimètres} = \text{la course demandée.}$$

V. Mesure de l'ouverture maxima des lumières. — La même position de la règle, figure 3, nous donne la mesure de l'ouverture maxima des lumières; elle est égale à la demi-course, moins le recouvrement; c'est-à-dire :

$$(74 - 43) \times k' = 31 \times 0,7 = 21,7 \text{ millimètres.}$$

On aurait encore l'ouverture maxima par la course que nous avons trouvée précédemment = 103,6 millimètres, en effet :

$$\frac{103,6}{2} - 30 = 21,8 = \text{l'ouverture maxima.}$$

VI. Situation du piston quand l'ouverture maxima a lieu. — La règle étant toujours à la position de la figure 3, le chiffre qu'on lit au point de tangence du demi-cercle donne la situation exacte du piston; pour ce cas c'est 17 pour 100. Comme règle pratique, on peut contrôler cette lecture en faisant un peu courir la glissière A à gauche, et en regardant sur lequel des rayons la règle C est perpendiculaire, ce rayon sera celui qui donne la position du piston.

Nous rappelons ici que toutes les quantités lues sur les deux

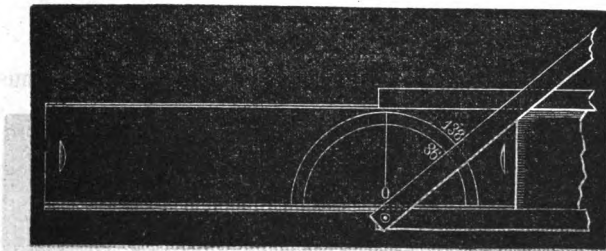


Fig. 4.

demi-cercles sont réelles, sauf les influences de l'inclinaison de la bielle sur la manivelle que nous corrigerons plus tard. Les distances linéaires seules ont besoin d'être multipliées par k' pour être ramenées à la réalité.

VII. Mesure de la compression. — 1° Soient d'abord des

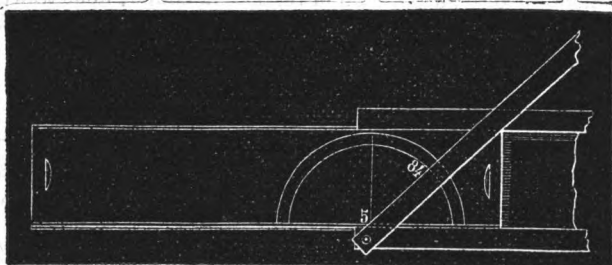


Fig. 5.

recouvrements intérieurs nuls ; amenez la glissière à la position de la figure 4 ; le biseau de la règlette, passant par le centre, coupe le demi-cercle intérieur à la division 86 pour 100 de la course ; c'est en ce point que commence précisément la compression, dont la durée sera , par conséquent, égale à :

$$100 - 86 = 14 \text{ pour } 100.$$

La compression est donc de 14 pour 100.

2° S'il y avait un recouvrement intérieur de 3^{mm},5 par exemple, il correspondrait sur la règle à $3,5 \times k = 3,5 \times 1,43 = 5$ millimètres ; on mettrait la règle dans la position de la figure 5 : la règlette étant à 5 millimètres à gauche du zéro, le point où elle coupe le demi-cercle intérieur donne la nouvelle compression ; elle le coupe à 84 pour 100 de la course, donc elle est égale à :

$$100 - 84 = 16 \text{ pour } 100 \text{ de la course.}$$

3° Si le recouvrement intérieur était négatif (et de 3^{mm},5 aussi)

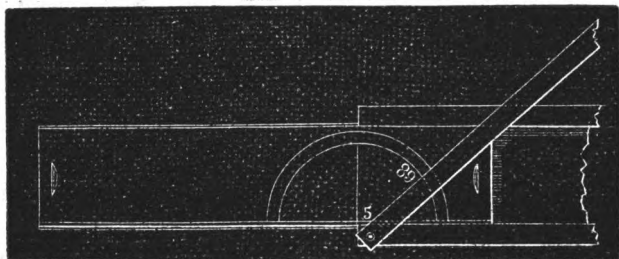


Fig. 6.

on placerait, figure 6, la règlette de 5 millimètres à droite du zéro et on lirait, sur le demi-cercle intérieur, la compression, qui serait alors de :

$$100 - 89 = 11 \text{ pour } 100.$$

VIII. Mesure de l'échappement anticipé. — Même méthode que pour la compression, si les recouvrements intérieurs sont nuls (fig. 4). Si les recouvrements intérieurs sont positifs, il faudra placer la règlette à droite (fig. 6). Si ces recouvrements sont négatifs, il faudra placer la règlette à gauche (fig. 5).

Exemple (mêmes recouvrements intérieurs que dans le paragraphe précédent):

avec recouvrement intérieur nul,		échappement = 14 pour 100
— — positif de 3 ^{mm} ,5,	—	= 11 pour 100
— — négatif de 3 ^{mm} ,5,	—	= 16 pour 100

IX. Mesure de l'admission anticipée ou à contre-vapeur. — Mettre dans la position de la figure 7 la règlette à

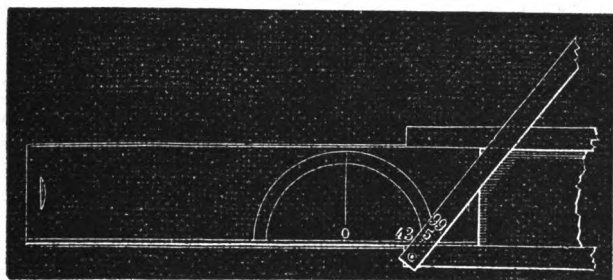


Fig. 7.

43 millimètres à droite du zéro, c'est-à-dire à la distance du recouvrement extérieur ($30 \times k = 30 \times 1,43 = 43$ millimètres). Nous lisons, sur le demi-cercle intérieur, 99,5 pour 100 de la course, donc

$$100 - 99,5 = 0,5 \text{ pour } 100.$$

L'admission anticipée a donc lieu pendant 0,5 pour 100 = 1/2 pour 100 de la course du piston.

X. Mesure du rayon et du calage de l'excentrique qui produirait la distribution précédente. — Le rayon nous est donné par la figure 3, qui sert à mesurer la course du tiroir, car le rayon cherché est égal à la demi-course que nous connaissons déjà.

Quant à l'angle d'avance de l'excentrique, il sera précisément égal à l'inclinaison de la réglette sur l'horizontale, et la figure 4 nous donnera cet angle qu'on lira sur le demi-cercle extérieur, divisé en degrés, = 42 degrés.

XI. Influence de la bielle. — Les résultats que nous avons trouvés sont la *moyenne des résultats de la pratique*, mais il est facile, avec la règle, d'avoir la réalité pour chaque longueur de bielle et pour chaque demi-tour de la manivelle. Pour cela :

1° Multiplions 50 millimètres par le rapport de la bielle à la manivelle ; soit 5 ce rapport ; on a $50 \times 5 = 250$.

2° Prenons une ouverture de compas égale à ce produit 250 millimètres.

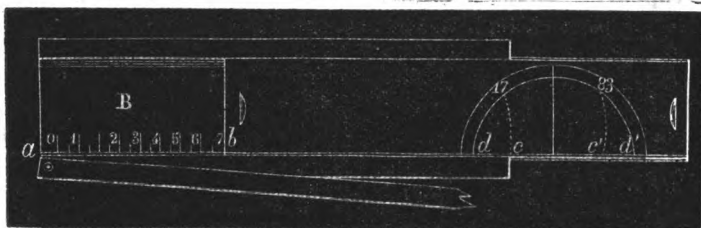


Fig. 8.

3° Plaçons la règle dans la position de la figure 8, de façon qu'il y ait plus de 250 millimètres entre l'extrémité gauche de l'instrument et l'extrémité gauche du demi-cercle intérieur.

XII. Rectification de la position du piston quand a lieu l'ouverture maxima. — Nous avons vu (fig. 3) que le piston était, à ce moment, à 17 pour 100. Plaçons notre compas à 17 pour 100 et son autre pointe au point où elle rencontrera la ligne *ab* tracée sur la coulisse B ; autour de ce dernier point comme centre traçons un arc de cercle qui coupera le diamètre en *c*, le nombre de millimètres contenu dans *cd* re-

présente, en centièmes de la course du piston, la position *réelle* de ce dernier avec une bielle égale à cinq fois la manivelle. Nous trouvons 19,50 pour 100 de la course. Voilà pour un premier demi-tour de manivelle.

Pour le second demi-tour nous plaçons une des pointes du compas sur le demi-cercle intérieur à $100 - 17 = 83$, l'autre pointe sur la ligne ab ; de ce point, traçons un autre demi-cercle qui coupe le diamètre en c' ; la longueur $c'd' = 14$ millimètres $= 14$ pour 100 de la course du piston $=$ la longueur cherchée.

Ainsi l'ouverture maxima a lieu à 19,50 pour 100 de la course dans un demi-tour de manivelle et dans l'autre à 14 pour 100 (moyenne 17 pour 100).

XIII. Rectification de la compression et de l'échappement anticipé. — Nous avons trouvé 14 pour 100 de compression avec un tiroir sans recouvrement intérieur et bielle infinie; opérant comme ci-dessus sur le demi-cercle, en mettant successivement notre pointe de compas à 14 pour 100 en avant et en arrière de chacune des extrémités du diamètre, nous trouverons que, dans une demi-course, la compression commence à 13,5 pour 100 de la course du piston et dans l'autre à 11,5 pour 100. Pour égaliser la compression sur les deux faces du piston, cherchons la valeur des recouvrements intérieurs à donner pour que cette égalité ait lieu. Pour cela, plaçons successivement nos pointes de compas sur 14 millimètres (valeur moyenne de la compression) à droite et à gauche des deux extrémités du diamètre dd' , et sur la ligne ab (fig. 8) décrivons de ces derniers points deux arcs de cercle, ils coupent le demi-cercle intérieur aux points 12 pour 100 et 82,5 pour 100.

Ceci posé, plaçons la règle dans la position de la figure 2, et faisons coïncider successivement la réglette avec 12 pour 100 et 82,5; nous lirons deux valeurs, l'une à droite, l'autre à gauche du zéro; elles représenteront respectivement la valeur du recouvrement qu'il faudra mettre intérieurement au tiroir, pour que la compression et l'échappement anticipé commencent à 14 pour 100 de chacune des courses du piston. Ces valeurs sont de 7 et 5 millimètres; la première (à gauche du zéro) est un recouvrement intérieur positif de 7 millimètres, la seconde

un recouvrement intérieur négatif de 5 millimètres; n'oublions pas qu'il faudra multiplier ces deux recouvrements par le coefficient k' pour les ramener à la réalité d'une distribution.

XIV. Rectification de l'admission pour la rendre égale sur chaque face du piston. — On procède exactement comme ci-dessus, sauf que les pointes de compas partent de 60 millimètres de chaque extrémité du diamètre dd' ; on recoupe le demi cercle aux divisions 55 et $35 = 100 - 65$ pour 100 (60 millimètres sont pris pour le cas où la détente commence à 60 pour 100).

On remet encore la règle dans la position de la figure 2 et on fait passer la réglette par les divisions 55 et 65 du demi-cercle intérieur; on lit les deux longueurs qu'elle recoupe sur le diamètre à gauche du zéro; c'est 37 millimètres et 49 millimètres. *Telles sont les longueurs qu'il faut donner aux deux recouvrements extérieurs* pour couper la vapeur à 60 pour 100 (multipliées par k').

Quant à la position respective à donner aux recouvrements intérieurs et extérieurs que nous venons de trouver, on remarquera qu'ils doivent toujours être opposés, c'est-à-dire que le plus grand recouvrement extérieur est du même côté que le recouvrement intérieur négatif, et réciproquement; de plus, le recouvrement extérieur le plus long doit être toujours placé le plus éloigné de l'arbre moteur, quel que soit son sens de rotation.

Il résulte de ce fait et de ce que les recouvrements intérieurs et extérieurs doivent être corrigés sensiblement de la même quantité pour une même admission qu'il suffira, si on a un tiroir symétrique, d'éloigner son centre de symétrie du milieu de la lumière d'échappement et à l'opposé de l'arbre moteur d'une longueur égale à la correction qu'il faut faire subir aux recouvrements. Dans l'exemple précédent, la moyenne des corrections des recouvrements extérieurs et intérieurs était de 6 millimètres; il faudrait donc, *pour ce cran-là*, écarter le tiroir de 6 millimètres en l'éloignant de l'arbre moteur.

Lorsque le mécanicien sera habitué à notre règle et qu'il en comprendra bien l'esprit, il pourra résoudre plusieurs pro-

blèmes de distribution qu'il serait trop long de donner ici, chercher, par exemple, les différentes valeurs à donner aux recouvrements intérieurs pour que la compression ou l'échappement anticipé commence à tel ou tel moment, etc.

XV. Remarques au sujet de nos systèmes de distribution. — D'après ce que nous venons de voir, l'influence de la longueur de la bielle sur la symétrie de la distribution est plus sensible qu'on ne le pense généralement. Jusqu'ici, après avoir fait une épure fausse, puisqu'elle supposait la bielle infinie, on laissait au tâtonnement le soin de remédier toujours imparfaitement à ces défauts de symétrie. Il n'en est pas de même dans nos systèmes de distribution, qui donnent toujours une symétrie complète, c'est-à-dire les résultats fournis par le « dianémomètre » quand on y suppose la bielle infinie; c'est-à-dire que les choses se passent *comme si la bielle était infinie*, il n'est donc pas nécessaire d'inégaliser les recouvrements des tiroirs.

XVI. Appareil elliptique de distribution. — On remarque (fig. 1) sur le diamètre deux demi-ellipses; elles ont pour but de donner les phases de la distribution produite dans une distribution spéciale due à M. Deprez, qui porte le nom de *distribution elliptique* et qui permet le changement de marche ainsi que la détente variable (1).

Ce système elliptique donne la distribution que le lecteur obtiendra si pour chaque degré de détente, au lieu de prendre les positions de la manivelle motrice sur le demi-cercle intérieur, il les prenait sur les points où la manivelle coupe l'une des deux ellipses. Sur le dianémomètre celles-ci ne sont divisées que de 3 en 5 de la course du piston.

N'ayant à répéter que ce qui a été dit pour le cercle, il nous semble inutile de redonner la marche à suivre, mais nous citerons les résultats d'un exemple pris sur l'ellipse dont le petit axe est la moitié du grand axe, en faisant observer que les résultats seraient encore améliorés si nous avions pris les positions de la manivelle sur l'ellipse la plus aplatie.

(1) Voir, à cet égard, *Études sur la machine à vapeur de M. Ch. Combes*, membre de l'Institut. — Dunod, éditeur. Paris, 1869.

Supposons 100 millimètres pour le recouvrement extérieur d'un tiroir.

Zéro pour les recouvrements intérieurs.

25 millimètres pour l'avance linéaire à l'admission (elle est constante dans tous ces appareils) :

Admission.	Compression et échappement anticipé.	Admission à contre-vapeur.	Ouverture maxima.	Course du tiroir.
10 p. 100.	24,5 p. 100.	1 p. 100.	30 millim.	260 millim.
15 —	19 —	0,75 —	34,4 —	268,8 —
20 —	15,5 —	0,60 —	38 —	276 —
25 —	13 —	»	41,5 —	283 —
30 —	11,5 —	»	45 —	290 —
35 —	10,5 —	»	48,4 —	298,8 —
40 —	9,25 —	»	51,8 —	303,6 —
45 —	8,25 —	»	55,5 —	311 —
50 —	7,50 —	»	59,5 —	319 —
55 —	6,75 —	»	63,75 —	327,8 —
60 —	6 —	»	67,5 —	335 —
65 —	5,5 —	»	73 —	346 —
70 —	5 —	»	78,75 —	357,5 —
75 —	4 —	»	87 —	374 —
80 —	3,5 —	»	97,5 —	395 —
85 —	2,75 —	»	112,5 —	425 —
90 —	2 —	»	136,75 —	473,8 —

N. B. On verra que, dans ce cas, sur la règle, il faudra prendre 40 millimètres à gauche du 0 pour recouvrement extérieur et 10 millimètres d'avance.

Les coefficients k et k' seront 0,4 et 2,5.

D'après ce tableau, on voit que les avantages du système elliptique sont :

- 1° Ouverture très-grande pour les petites admissions.
- 2° Réduction de la compression et de la marche à contre-vapeur.
- 3° Diminution de la course du tiroir dans les grandes admissions.
- 4° Pas de corrections à faire pour l'obliquité de la bielle, etc.

XVII. Coulisses à avance constante de Gooch, d'Allen, etc. — Pour avoir la distribution correspondant à chaque cran d'admission, on opérera comme il a été dit dans l'exemple traité ci-dessus.

XVIII. Coulisse à avance variable de Stephenson. — Le calcul de la distribution de ce genre de coulisse est un peu plus long, car, pour chaque cran d'admission, il faut connaître l'avance qui lui correspond et calculer de nouveaux coefficients k et k' . On opère ensuite comme il a été dit dans l'exemple ci-dessus (4).

(1) Le dianémomètre se trouve chez M. Baudry, éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris, et chez les auteurs, 35, boulevard Magenta, à Paris.

