Le

# COMPAS DE PROPORTION

PAR

**L. GAGNANT**

Chef d'atelier à l'École professionnelle de Tananarive
Ancien professeur à l'École nationale d'horlogerie de Cluses

---

*Avec cinq figures dans le texte*

---

Extrait du *Journal suisse d'horlogerie*

**GENÈVE**
ADMINISTRATION DU JOURNAL SUISSE D'HORLOGERIE
2, rue Necker, 2

—

1904

# LE COMPAS DE PROPORTION

## I. Avant-Propos

L'étude du remarquable travail de H. Schouffelberger intitulé : *Dix tableaux pour déterminer la grandeur des roues et pignons d'horlogerie*, m'a montré qu'il n'était pas aussi aisé qu'on pourrait le croire à première vue de rechercher avec exactitude de combien un compas est excentré. De plus, j'ai constaté que les compas ne peuvent pas tous se ranger dans les quatre catégories proposées par l'auteur, et que quelques-uns s'en écartent même notablement (*).

C'est pour ces motifs que j'ai établi le tableau qu'on trouvera à la fin de cette étude et que j'expose les méthodes qui m'ont servi à rechercher les excentricités. La méthode des rondelles, que je crois inédite, est celle qui m'a donné les meilleurs résultats.

Je me suis servi des rapports des diamètres totaux calculés par Schouffelberger, et j'ai conservé la disposition de sa table.

Il m'a paru nécessaire d'établir une table spéciale pour le pignon de 7, en plaçant deux ailes les plus éloignées sur chacun des traits formant la division 7 du compas de proportion.

(*) Ainsi, il n'a prévu aucune table entre celles du compas normal et du compas $^5/_8$, et la substitution de l'une ou l'autre de ces tables à celle employée pour un compas $^3/_{10}$, par exemple, conduit à des erreurs de plusieurs centièmes de millimètre. Tel serait le cas d'une roue de 80 menant un pignon de 10 ailes de $2^{mm}50$ de diamètre: la substitution de l'une des deux tables à une autre pour compas $^3/_{10}$, donnerait une différence d'environ $\pm$ $0^{mm}06$.

## II. Méthodes usitées pour déterminer la grandeur relative des roues et pignons

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la grandeur des pignons en fonction de celle des roues, et réciproquement.

1° *Par le calcul.* — Connaissant le rapport du diamètre total d'une roue au diamètre total d'un pignon, il est facile de déterminer l'un des mobiles, connaissant l'autre.

Exemple : supposons que dans l'engrenage d'une roue de 80, menant un pignon de 10 ailes, le diamètre de la roue soit de $11^{mm}25$; on demande de déterminer le diamètre total du pignon.

Le rapport du diamètre total de la roue au diamètre total du pignon étant 7.548, cela veut dire que le pignon doit être 7.548 fois plus petit que la roue; si donc nous divisons 11.25 par 7.548, le quotient $1^{mm}49$ exprimera le diamètre total du pignon.

Réciproquement, quand on connaîtra le diamètre total d'un pignon de 10 mené par une roue de 80, en le multipliant par 7.548 on aura le diamètre total de la roue.

On opérerait de même pour tout autre engrenage.

2° *Par le calibre à pignon.* — A l'aide de dessins à grande échelle, on mesure combien le diamètre total du pignon porté sur la circonférence primitive ou sur la circonférence totale de la roue embrasse de dents et de vides (méthode de F. Berthoud).

On voit, par exemple, que dans l'engrenage d'une roue de 80 menant un pignon de 10, le diamètre total du pignon porté sur la circonférence primitive de la roue embrasse quatre dents pleines. Donc, toutes les fois qu'on voudra choisir un pignon de 10, de diamètre convenable, mené par une roue de 80, il suffira de mesurer très exactement quatre dents pleines sur la circonférence primitive de la roue.

Mais le diamètre total du pignon porté sur la roue ne détermine pas, dans tous les engrenages, une dimension facilement mesurable.

Si nous prenons, par exemple, l'engrenage d'une roue de 64 menant un pignon de 8, nous voyons que le diamètre total du pignon embrasse trois dents pleines et un peu moins d'un vide. Quelle est cette fraction, et comment est-on sûr de la mesurer exactement ? Il y a doute, et par conséquent cette méthode ne saurait donner que des résultats approchés.

3° *Par le compas de proportion.* — Le compas de proportion est basé sur la similitude des triangles. C'est un instrument (fig. 1,

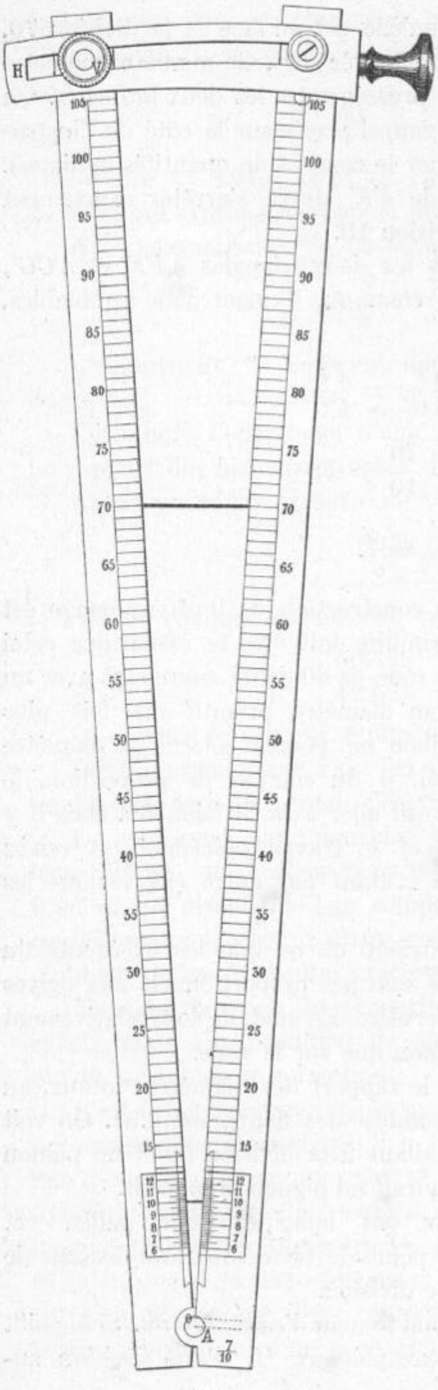


*Fig. 1*

échelle $^5/_9$) formé de deux branches en laiton, mobiles autour d'une charnière *A*, sur lesquelles sont marquées des divisions égales et numérotées de la même manière. Ces divisions ne sont marquées qu'à partir de la sixième. L'une des branches porte une vis *V*, à large tête, pouvant coulisser dans la pièce *H*, qui sert à limiter l'écartement des deux branches et à les maintenir à l'aide de cette vis dans le même plan.

Soit à déterminer, à l'aide de cet outil, le diamètre d'une pièce $CC'$ (fig. 2) qui soit le septième d'une autre $FF'$. On choisit deux nombres qui soient entre eux comme 1 et 7, par exemple 10 et 70. On introduit la pièce $FF'$

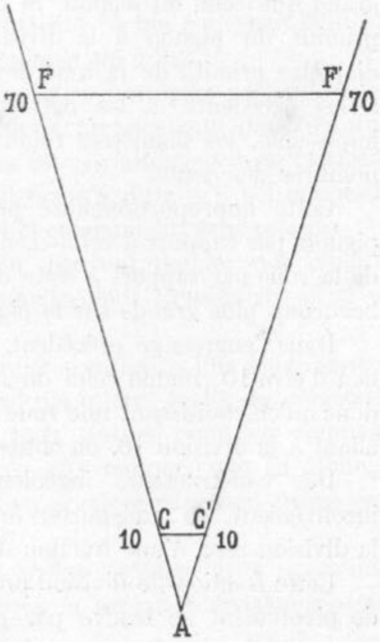


*Fig. 2*

entre les deux branches, et lorsqu'elle est en face de la division 70, on amène la branche $AF$ en contact avec $FF'$, de manière que cette rondelle se maintienne sans être pressée entre les deux branches. On serre alors la vis $V$. (Une vis de rappel placée sur le côté de l'instrument permet d'ouvrir ou de fermer le compas de quantités minimes). La pièce qui sera le septième de $FF'$ devra s'arrêter exactement entre les deux branches à la division 10.

En effet, si nous considérons les deux triangles $AFF'$ et $ACC'$, ils sont isocèles et ont l'angle $A$ commun. Ils sont donc semblables, et l'on peut écrire;

$$\frac{AF}{AC} = \frac{AF'}{AC'} = \frac{FF'}{CC'}.$$

Mais
$$\frac{AF}{AC} = \frac{70}{10} = 7;$$

donc
$$\frac{FF'}{CC'} = 7.$$

Le principe qui préside à la construction de tout engrenage est que le rapport des diamètres primitifs doit être le même que celui du nombre des dents. Ainsi, une roue de 60 dents engrenant avec un pignon de 6 ailes devra avoir un diamètre primitif dix fois plus grand que celui du pignon. Si donc on pouvait placer le diamètre primitif du pignon à la division 6 du compas de proportion, le diamètre primitif de la roue devrait aller à la division 60. Mais il y a les excédents et les ogives, et le travail précédent est rendu impossible, les diamètres totaux n'étant pas entre eux comme les nombres des dents.

Cette improportionnalité provient de ce que les excédents du pignon, par rapport à celui-ci, ne sont pas proportionnels aux ogives de la roue par rapport à cette dernière. En effet, ils sont relativement beaucoup plus grands sur le pignon que sur la roue.

Dans l'engrenage précédent, le rapport des diamètres totaux, au lieu d'être 10 comme celui du nombre des dents, est 8.91. On voit donc qu'en choisissant une roue allant à la division 60 et un pignon allant à la division 10, on obtiendrait un pignon trop petit.

Des constructeurs ingénieux ont imaginé, pour pallier cet inconvénient, de transporter le point de pivotement, au-dessous de la division zéro, d'une fraction de division.

Cette fraction de division prend le nom d'*excentricité*. Si le point de pivotement se trouve par exemple aux $^4/_5$ d'une division au-dessous de zéro, en plaçant la roue à la division 60 et le pignon à la division 10, les diamètres des deux mobiles seront entre eux

$$= 60\,\frac{4}{5} : 6\,\frac{4}{5} = \frac{60.8}{6.8},$$

c'est-à-dire $= 8.94 : 1$, et ce rapport se rapproche sensiblement de 8.91, qui exprime le rapport des diamètres totaux.

Avec l'excentricité $^5/_8$, on aurait :

$$60\,\frac{5}{8} : 6\,\frac{5}{8} = \frac{60.625}{6.625} = 9.15.$$

L'excentricité $^4/_5$ convient donc mieux dans ce cas que l'excentricité $^5/_8$.

Examinons l'engrenage d'une roue de 60 et d'un pignon de 12. Le rapport des diamètres totaux doit être ici 4.79.

Avec un compas excentré de $^4/_5$, on obtient

$$\frac{60.8}{12.8} = 4.75,$$

et avec un compas excentré de $^5/_8$ on aurait :

$$\frac{60.625}{12.625} = 4.80.$$

Ce rapport se rapproche plus de celui à obtenir que le précédent.

Dans le premier cas, c'est l'excentricité $^4/_5$ qui convenait le mieux, tandis que, dans le second, c'est l'inverse qui a lieu.

On comprend donc pourquoi quelques horlogers prétendent que leur compas est meilleur pour certains pignons que pour d'autres. Il en est qui disent que leur compas est parfaitement juste (assertion complètement fausse), d'autres vont jusqu'à dire qu'il est impossible d'obtenir de lui un résultat précis et le condamnent sans retour.

Tous les compas de proportion peuvent donner des résultats exacts, mais à la condition de connaître leur excentricité et d'employer les tables de correction.

C'est Schouffelberger qui, le premier, a entrepris une étude sérieuse du compas de proportion; il a calculé quatre tables de correction, une pour le compas normal et trois autres pour les compas à excentricités $^5/_8$, $^3/_4$, $^7/_8$; mais il n'a pas indiqué, que je sache, la manière de calculer l'excentricité. Je n'ai relevé dans son mémoire, à ce sujet, que le passage suivant :

« Le possesseur d'un compas devra mesurer très exactement la distance du centre de la charnière à la première division marquée et comparer cette distance aux autres divisions de l'échelle, afin de constater à quel type le compas appartient. »

### III. Divers types de compas de proportion

Il y a plusieurs types de compas de proportion : le compas normal et ceux à excentricité.

Le compas *normal* est celui dans lequel le zéro de la graduation se confond avec le point de pivotement. Il convient très bien pour établir les dimensions de deux pièces dans un rapport de grandeur donné, mais c'est celui qui donne les résultats les plus erronés quand on mesure les diamètres totaux sans l'emploi d'une table de correction.

Il serait inexact de croire qu'il n'y a que quatre types de *compas de proportion à excentricité :* il y en a une grande quantité d'autres, dont les excentricités sont $^1/_4$, $^3/_5$, $^4/_7$...... etc. (*).

Les tables qui terminent cette étude ont été calculées pour des compas dont l'excentricité de chacun au suivant varie de $^1/_{10}$ de division.

Il est facile de ramener à l'un de ces genres un compas d'excentricité quelconque, $^1/_6$ par exemple.

Transformons la fraction $^1/_6$ en une fraction équivalente dont le dénominateur soit 10. Pour cela, il faut multiplier les deux termes par $\frac{10}{6}$, soit par 1.67 ; on a ainsi la fraction $\frac{1.67}{10}$, fraction qui est comprise entre $^1/_{10}$ et $^2/_{10}$, mais qui se rapproche un peu plus de la dernière.

On arriverait plus simplement au même résultat en divisant 1 par 6. On obtient 0.167 pour quotient et ce nombre est compris entre 0.1 et 0.2.

Dans le cas où l'on ne voudrait pas établir une table spéciale de correction, et où l'on désirerait se servir de celle de $^2/_{10}$, calculons l'erreur que l'on commettrait.

Supposons le cas d'une roue de 80 et d'un pignon de 10 ; le rapport des diamètres totaux est de 7.548. Dans le cas de l'excentricité $^1/_{10}$, on placera la roue à la division 76.1, et dans le cas de l'excentricité $^2/_{10}$, on devra la placer à la division 76.8. Avec l'excentricité $^1/_6$, il faudrait la placer à la division 76.5. On commet

(*) Je cite ceux-là de préférence, parce que je les ai eus entre les mains et que j'en ai dressé les tables de correction.

donc, en la plaçant à 76.8, une erreur de $^3/_{10}$ de division, qui se traduit sur le pignon par une autre huit fois plus petite, c'est-à-dire que la roue ayant monté de $^3/_{10}$ de division, le pignon montera de $^3/_{80}$, et si le pignon a un diamètre de $2^{mm}$ par exemple, l'erreur sera $\frac{0.2 \times 3}{80} = 0^{mm}0075$, c'est-à-dire les $^3/_4$ de un centième de millimètre, quantité que l'on peut considérer comme sensiblement négligeable.

Au reste, cette grandeur pourra être encore diminuée si, après avoir remarqué que la fraction $^1/_6$ se rapproche un peu plus de $^2/_{10}$ que de $^1/_{10}$, on a soin de placer la roue plus près de 76.8 que de 76.1, c'est-à-dire à 76.5 ou 76.6.

## IV. Recherche de la formule a employer pour rectifier les compas de proportion

Soient deux rondelles $N$ et $M$, dans un rapport de grandeur déterminé $R$, tel que $\frac{N}{M} = R$.

Si (fig. 3) on ouvre le compas (*) de manière que le disque $M$ aille en $AA'$, $N$ ira se placer en $DD'$ et l'on peut écrire

$$\frac{DP}{AP} = R.$$

Supposons que rien n'étant changé à la graduation, le point de pivotement $P$ soit porté de $P$ en $P'$. Si l'on ouvre le compas de manière à replacer le disque en $AA'$, la rondelle $N$ ira en $BB'$.

Les points $B$ et $D$ sont à égale distance de la ligne $xy$, bissec-

(*) La figure 3 représente deux compas de proportion superposés — dans lesquels, pour la clarté du dessin, la largeur des branches des compas a été ramenée à une ligne droite — l'un normal $DP''D'$ et l'autre exentrique $BP'B''$, mobiles autour de leurs charnières $P''$ et $P'$. Ils sont percés en $A$ et $A'$ et portent à chacun de ces points une goupille autour de laquelle ils se meuvent librement Ils ont ainsi constamment en $AA'$, l'un et l'autre, des écartements égaux.

Lorsque $A$ est en contact avec $A'$, les trois points $O$, $P$, $P''$ n'en font qu'un seul sur la ligne $xy$. C'est le zéro de la graduation des deux compas et en même temps le point de pivotement du compas normal.

Si les deux points $A$ et $A'$ s'éloignent l'un de l'autre, le point $O$ reste toujours à la même distance des deux points $A$ et $P'$. Le point $P$ s'éloigne de plus en plus du point $P'$ sur la ligne $xy$, tout en restant toujours à la même distance des points $A$ et $A'$, c'est-à-dire qu'on a sans cesse : $AP'' = A'P'' = AO$.

*

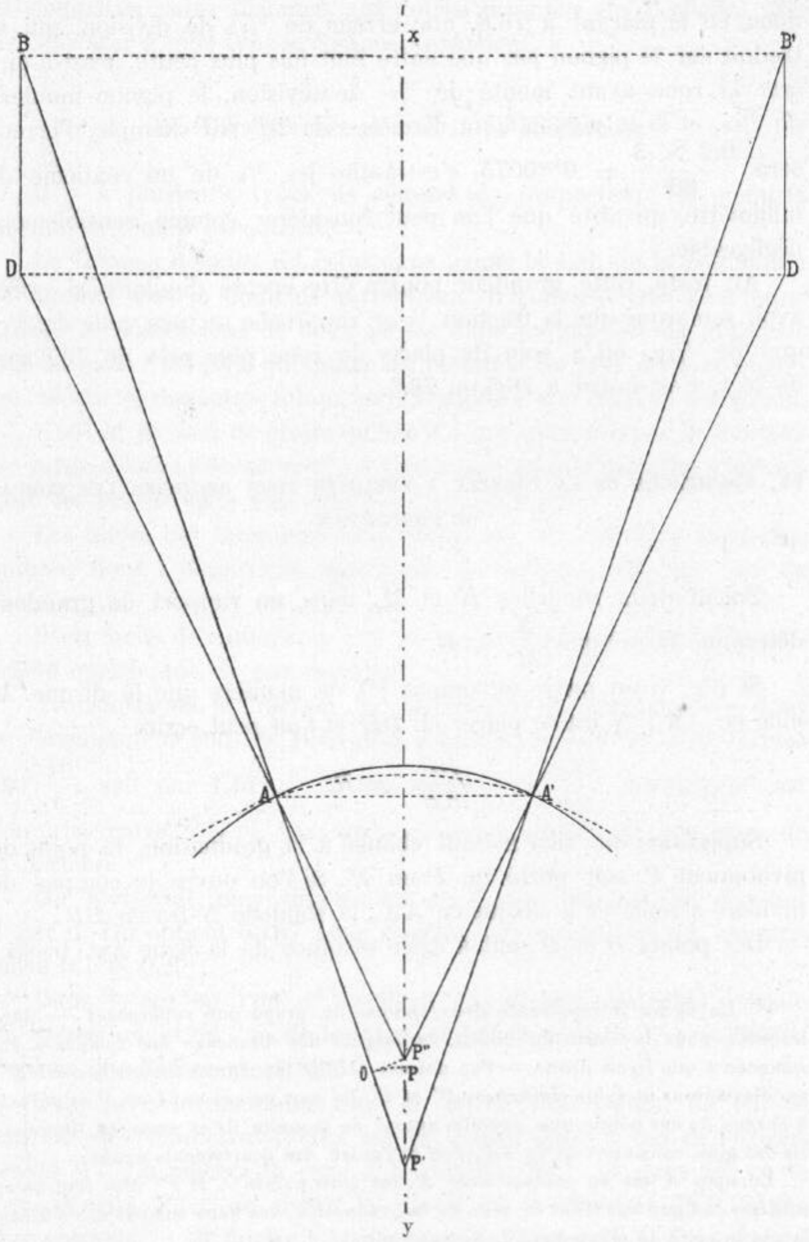


*Fig. 3*

trice de l'angle $BP'B'$. La ligne $BD$ est donc parallèle à $xy$ et les deux triangles semblables $ABD$ et $AP'P''$ donnent :

$$\frac{AD}{AP''} = \frac{AB}{AP'},$$

d'où

$$\frac{AD + AP''}{AP''} = \frac{AB + AP'}{AP'},$$

c'est-à-dire

$$\frac{DP''}{AP''} = \frac{BP'}{AP'},$$

d'où l'on tire

$$BP' = \frac{DP'' \times AP'}{AP''}.$$

Mais $AP' = AO + PP'$. On a donc

$$BP' = \frac{DP''}{AP''}(AO + PP').$$

La graduation commençant au point $O$, pour avoir la longueur $OB$, il faut de $BP'$ retrancher $OP'$ ou son égal $PP'$, c'est-à-dire qu'on peut écrire :

$$OB = BP' - PP'.$$

Remplaçons $BP'$ par sa valeur précédemment trouvée; on obtient :

$$OB = \frac{DP''}{AP''}(AO + PP') - PP'.$$

Mais $\frac{DP''}{AP''}$ est le rapport $\frac{N}{M}$ des deux disques, c'est-à-dire $R$.

En appelant $D$ la distance du point $O$ au point $B$, $R$ le rapport des deux disques, $P$ la distance du point $O$ au point où l'on place la plus petite rondelle, $q$ la longueur $PP'$ qui sépare le zéro de la graduation du point de pivotement, on a finalement

$$D = R\,(P + q) - q.$$

La quantité $q$ est une fraction de division.

*Applications de cette formule. — Problème.* Étant donnés deux disques $A$ de $10^{mm}$ et $B$ de $80^{mm}$, on demande à quelle division se placera le disque $B$ si $A$ est placé à la division 10, l'excentricité $q$ du compas étant égale à $^4/_7$.

Dans la formule

$$D = R\,(P + q) - q,$$

remplaçons les lettres par leurs valeurs; il vient :

$$D = 8\left(10 + \frac{4}{7}\right) - \frac{4}{7} = 8 \times \frac{74}{7} - \frac{4}{7}$$

ou

$$D = \frac{592 - 4}{7} = \frac{588}{7} = 84.$$

Le disque $B$ devra donc se placer à la division 84.

*Problème réciproque.* Deux disques de dimensions inconnues $A$ et $B$ vont l'un à la division 10 et l'autre à la divison 84. On demande de calculer leur rapport de grandeur $R$ (excentricité du compas $^4/_7$).

Dans la proportion $\frac{DP''}{AP''} = \frac{BP'}{AP'}$,

remplaçons les lettres par leurs valeurs; on a :

$$\frac{x}{10} = \frac{84 + \frac{4}{7}}{10 + \frac{4}{7}},$$

d'où l'on tire :

$$x = \frac{10\left(84 + \frac{4}{7}\right)}{10 + \frac{4}{7}} = \frac{10\left(\frac{592}{7}\right)}{\frac{74}{7}} = \frac{5920}{74} = 80.$$

Le rapport de grandeur est donc $\frac{80}{10} = 8$.

## V. Calcul de l'excentricité d'un compas de proportion

Lorsqu'on veut calculer l'excentricité d'un compas de proportion, on s'assure au préalable si toutes les divisions de l'échelle ont la même étendue. Pour cela, à l'aide d'un pied à coulisse, on en mesure un certain nombre, 30 par exemple, et l'on vérifie en différents points du compas si 30 divisions ont toujours la même longueur. On s'assure également que la charnière est en bon état et que les deux branches du compas, appliquées l'une contre l'autre, coïncident exactement et sont suffisamment rigides.

*Premier procédé.* — On lit sur le pied à coulisse combien valent 30 divisions, soit, par exemple, $83^{mm}6$ (fig. 4.)

On mesure ensuite 30 divisions, plus le pivot, soit $88^{mm}8$. Mesurons le pivot, $8^{mm}3$, dont la moitié est $4^{mm}15$.

Si de $88^{mm}8$, on défalque $4^{mm}15$, moitié du pivot, on obtient la distance du centre de pivotement à la $30^{me}$ division :

$$88.8 - 4.15 = 84.65.$$

Mais nous venons de voir que 30 divisions $= 83^{mm}6$. Le point de pivotement est donc au-dessous de la division zéro de la quantité

$$84.65 - 83.6 = 1^{mm}05.$$

Une division valant $\dfrac{83.6}{30} = 2.79$, la fraction qui exprime le

88,6
4.15
87.75

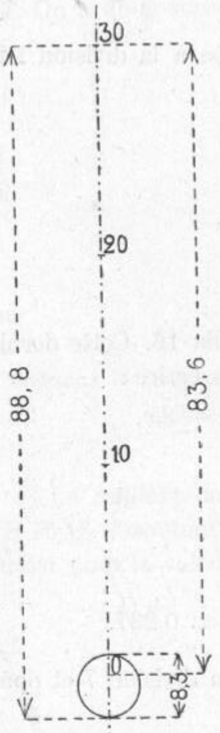


*Fig. 4*

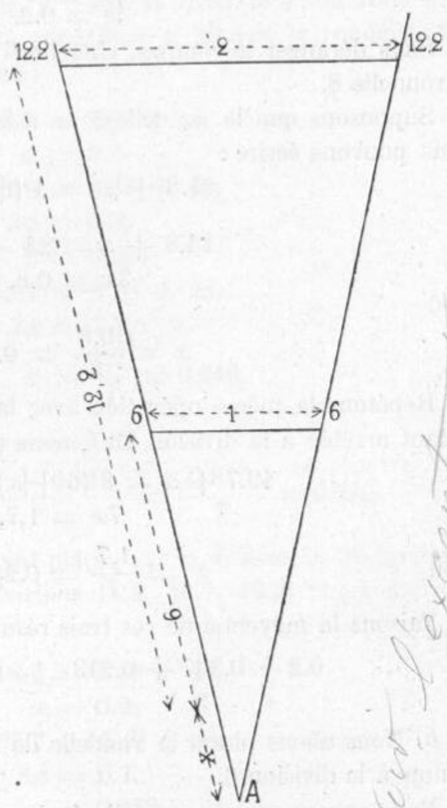


*Fig. 5*

voir l'excentricité normale

déplacement du centre est égale à

$$\frac{1.05}{2.79} = \frac{3}{8}.$$

*Deuxième procédé, dit des rondelles.* — On confectionne plusieurs rondelles dans un rapport de grandeur déterminé, soit $2^{mm}$, $4^{mm}$, $8^{mm}$, $16^{mm}$. Avec ces quatre rondelles, proposons-nous de déterminer l'excentricité d'un compas quelconque.

*a)* Ayant placé la rondelle 2 à la division 6 (fig. 5), nous voyons que la rondelle 4 s'arrête à la division 12.2.

Désignant par $x$ l'excentricité, nous pouvons écrire

$$12.2 + x = 2\,(6 + x)$$

ou

$$12.2 + x = 12 + 2x,$$

d'où nous tirons

$$x = 0.2.$$

Sans déranger le compas, cherchons à quelle division se placera la rondelle 8.

Supposons que la rondelle 8 se soit arrêtée à la division 24.8; nous pouvons écrire :

$$24.8 + x = 4\,(6 + x),$$

ou

$$24.8 + x = 24 + 4x,$$
$$3x = 0.8,$$

d'où

$$x = \frac{0.8}{3} = 0.267.$$

Répétons la même opération avec la rondelle 16. Cette dernière s'étant arrêtée à la division 49.7, nous pouvons écrire :

$$49.7 + x = 8\,(6 + x) = 48 + 8x,$$
$$7x = 1.7,$$

d'où

$$x = \frac{1.7}{7} = 0.243.$$

Faisons la moyenne de ces trois résultats :

$$\frac{0.2 + 0.267 + 0.243}{3} = \frac{0.710}{3} = 0.237.$$

*b)* Nous allons placer la rondelle de $2^{mm}$ à la division 7 et opérer comme à la division 6.

Nous voyons que la rondelle 4 s'arrête à la division 14.3. Nous avons donc

$$14.3 + x = 2\,(7 + x),$$

d'où

$$x = 0.3.$$

La rondelle 8 passe à la division 28.7; nous pouvons écrire :

$$28.7 + x = 4\,(7 + x),$$
$$3x = 0.7,$$

d'où

$$x = 0.233.$$

La rondelle 16 passe à la division 57.7 :

$$57.7 + x = 8\,(7 + x),$$
$$7x = 1.7,$$

d'où

$$x = \frac{1.7}{7} = 0.243.$$

Faisons la moyenne de ces trois résultats :

$$\frac{0.3 + 0.233 + 0.243}{3} = \frac{0.776}{3} = 0.259.$$

*c)* Plaçons la rondelle de $2^{mm}$ sur la division 8 ; la rondelle 4 s'arrête à la division 16.3, la rondelle 8 à 32.8 et la rondelle 16 à 65.7. On a donc successivement

$$x + 16.3 = 2\,(8 + x),$$

d'où
$$x = 0.3;$$

$$x + 32.8 = 4\,(8 + x),$$
$$3x = 0.8,$$

d'où
$$x = 0.267;$$

$$x + 65.7 = 8\,(8 + x),$$
$$7x = 1.7,$$

d'où
$$x = \frac{1.7}{7} = 0.243.$$

Faisons la moyenne de ces résultats :

$$x = \frac{0.3 + 0.267 + 0.243}{3} = \frac{0.810}{3} = 0.270.$$

*d)* La rondelle de $2^{mm}$ étant placée sur la division 9, les rondelles 4, 8 et 16 s'arrêtent aux divisions 18.2, 36.7, 73.7. On a successivement pour la valeur de $x$ :

$$x + 18.2 = 2\,(9 + x),$$

d'où
$$x = 0.2;$$

$$x + 36.7 = 4\,(9 + x),$$
$$3x = 0.7,$$

d'où
$$x = 0.233;$$

$$x + 73.7 = 8\,(9 + x),$$
$$7x = 1.7,$$

d'où
$$x = \frac{1.7}{7} = 0.243.$$

Faisons la moyenne :

$$x = \frac{0.2 + 0.233 + 0.243}{3} = \frac{0.676}{3} = 0.225.$$

*e)* La rondelle de $2^{mm}$ étant placée à la division 10 du compas, les autres se sont arrêtées aux divisions 20.2, 40.8 et 81.7. On a

$$x + 20.2 = 2\,(10 + x),$$

d'où $$x = 0.2;$$

$$x + 40.8 = 4\,(10 + x),$$
$$3x = 0.8,$$
d'où $$x = 0.267;$$
$$x + 81.7 = 8\,(10 + x),$$
$$7x = 1.7,$$
d'où $$x = 0.243.$$

Faisant la moyenne, il vient :

$$x = \frac{0.2 + 0.267 + 0.243}{3} = \frac{0.710}{3} = 0.237.$$

*f*) Plaçons la rondelle de $2^{mm}$ à la division 11 du compas, les rondelles 4, 8 et 16 s'étant arrêtées aux divisions 22.2, 44.9, 89.8. On a

$$x + 22.2 = 2\,(11 + x),$$
d'où $$x = 0.2;$$
$$x + 44.9 = 4\,(11 + x),$$
$$3x = 0.9,$$
d'où $$x = 0.3;$$
$$x + 89.8 = 8\,(11 + x),$$
$$7x = 1.8,$$
d'où $$x = 0.257.$$

Faisons la moyenne :

$$x = \frac{0.2 + 0.3 + 0.257}{3} = \frac{0.757}{3} = 0.252.$$

*g*) Plaçons la rondelle de $2^{mm}$ à la division 12.

La rondelle 4 s'étant arrêtée à la division 24.3, on a :

$$x + 24.3 = 2\,(12 + x),$$
d'où $$x = 0.3.$$

La rondelle 8 s'arrête à la division 48.8; on peut donc écrire

$$x + 48.8 = 4\,(12 + x),$$
$$3x = 0.8,$$
d'où $$x = 0.267.$$

Le compas n'ayant pas de divisions supérieures à 103, nous ne pouvons opérer avec la rondelle de $16^{mm}$.

Faisons la moyenne :

$$x = \frac{0.3 + 0.267}{2} = \frac{0.567}{2} = 0.283.$$

Faisons la moyenne générale des sept moyennes particulières obtenues en plaçant successivement la rondelle de $2^{mm}$ aux divisions 6, 7, 8, 9, 10, 11 & 12 du compas.

On a finalement

$$x = \frac{0.237 + 0.259 + 0.270 + 0.225 + 0.237 + 0.252 + 0.283}{7},$$

$$x = \frac{1.763}{7} = 0.252,$$

soit sensiblement $^1/_4$.

Le compas de proportion est excentré de $^1/_4$ de division.

*Troisième procédé.* — Certains horlogers trouveront un peu longue la méthode de détermination de l'excentricité au moyen des rondelles. Voici un autre procédé, basé sur le tableau des pages 20 et 21.

Il s'agit de choisir un pignon et une roue dans un rapport théorique parfait.

Supposons que nous ayons une roue de 80 dents et un pignon de 10 ailes. Le diamètre total du pignon est de 18 dixièmes de millimètre, celui de la roue de 135.8. Leur rapport est $\frac{135.8}{18} = 7.544$. Ils sont donc de bonne dimension.

On place le pignon à la division 10 très exactement et on lit à quelle division s'arrête la roue, soit 78.8.

En consultant le tableau sur la ligne horizontale : roue 80; pignon 10, on voit que 78.8 se trouve dans la colonne $^5/_{10}$. Le compas est d'excentricité $5/10$.

Il est bon de répéter la même opération avec un pignon de 8 et un pignon de 6.

Si l'on opère avec une roue de 64 et un pignon de 8, la roue devra être 7.4172 fois plus grande que le pignon et pour une roue de 60, et un pignon de 6, la roue sera 8.91 fois plus grande que le pignon.

Supposons qu'en plaçant le pignon à la division 8, la roue de 64 s'arrête à 62.4. On ne trouve pas 62.4 sur la ligne horizontale : roue, 64; pignon, 8, mais on trouve 62.5, qui correspond à une excentricité $^5/_{10}$.

On opérerait de même pour la roue de 60 et le pignon de 6.

Dans le cas où l'on ne posséderait pas de roues de dimension exacte, il est facile, si elles sont plus grandes, bien entendu, d'obtenir en les arrondissant les dimensions voulues et par suite les rapports de grandeur convenables.

## VI. Sensibilité du compas de proportion

*Problème I.* — Deux rondelles $A$ et $B$, dans le rapport $^8/_1$, sont placées dans un compas *normal*, la première $A$ à la division 80, et la seconde $B$ à la division 10. On demande à quelle division se placera $A$, si, au lieu de mettre $B$ à la division 10, on la met à la division 9.

*Solution :* $A$ étant 8 fois plus grand que $B$, ira se placer à la division $8 \times 9 = 72$.

Donc, quand $B$ descend de 1 division, $A$ descend de 8.

*Problème II.* — Même problème que le précédent, mais dans un compas *excentrique* (excentricité $^4/_7$ par exemple).

*Solution :* En plaçant un disque $B$ à la division 10, un disque $A$ 8 fois plus grand devra aller à la division 84 obtenue par la formule :

$$D = 8\left(10 + \frac{4}{7}\right) - \frac{4}{7} = 8\left(\frac{74}{7}\right) - \frac{4}{7} = \frac{592}{7} - \frac{4}{7} = \frac{588}{7} = 84.$$

Si nous plaçons $B$ à la division 9, le disque $A$ ira à la division 76 calculée par la formule :

$$D = 8\left(9 + \frac{4}{7}\right) - \frac{4}{7} = 8\left(\frac{67}{7}\right) - \frac{4}{7} = \frac{532}{7} = 76.$$

Donc, quand $B$ descend de 1 division, $A$ descend de 8, et le résultat est le même que précédemment.

*Problème III.* — Une roue de 80 dents, de $16^{mm}$ de diamètre, est placée à la division 80 du compas. On demande de combien il faut diminuer son diamètre pour qu'elle aille à la division 79.

*Solution :* Toutes les fois qu'elle descend de 1 division, elle diminue de la quatre-vingtième partie de son diamètre. Il faut donc la diminuer de $\frac{16}{80} = 0^{mm}2$.

*Réponse :* $0^{mm}2$.

*Problème IV.* — Un pignon de 10 ailes et de $2^{mm}$ de diamètre est placé à la division 10 du compas. De combien faut-il diminuer son diamètre pour qu'il aille à la division 9 ?

*Solution :* Toutes les fois qu'il descend de 1 division, il diminue de $^1/_{10}$, soit $\frac{2^{mm}}{10} = 0^{mm}2$.

*Réponse :* $0^{mm}2$.

*Problème V.* — Deux mobiles *A* et *B*, le premier de 80 dents, le second de 10 ailes, ont respectivement $16^{mm}$ et $2^{mm}$, et sont placés, la roue à la division 80, le pignon à la division 10. De combien faudra-t-il diminuer leurs diamètres pour qu'ils se placent aux divisions 72 et 9?

*Solution :* D'après les deux problèmes précédents, on voit que le pignon devra diminuer de $0^{mm}2$ et la roue de $1^{mm}6$. Ils auront donc $14^{mm}4$ et $1^{mm}8$ et seront encore dans le rapport 8 à 1.

Il résulte de ce qui précède que si l'on ne place pas exactement la roue à la division indiquée, l'erreur que l'on commet se trouve sur le pignon divisée par le rapport des deux mobiles, tandis qu'au contraire, quand on place le pignon sur une division inexacte, l'erreur sur la roue se trouve multipliée par ce rapport.

Voici un exemple pour fixer les idées : supposons qu'en voulant placer la roue *A* à la division 80, on commette une erreur de $^1/_{10}$ de division.

1° Proposons-nous de calculer l'erreur qui en découlera dans la mesure du pignon *B*.

Nous savons que quand *A* descend de une division, *B* descend de $^1/_8$.

Lorsque *A* descendra de $^1/_{10}$, *B* descendra de $^1/_{80}$. On commettra donc une erreur de $^1/_{80}$ de division. Une division donnant $0^{mm}2$ d'erreur, $^1/_{80}$ de division donnera $\frac{0.2}{80} = 0^{mm}0025$.

2° Supposons qu'en voulant placer le pignon *B* à la division 10, on commette une erreur de $^1/_{10}$ de division.

L'erreur sur la roue sera $^8/_{10}$, et comme une division correspond à une variation de $0^{mm}2$, $^8/_{10}$ de division vaudront $\frac{0.2 \times 8}{10} = 0^{mm}16$.

L'erreur que l'on commet est donc 64 fois plus grande que dans le premier cas.

Dans les problèmes qui précèdent, nous avons supposé que les roues et les pignons étaient placés au-dessous des divisions. Le raisonnement et les résultats seraient les mêmes si on les avait placés au-dessus.

On obtient donc des résultats plus exacts en déterminant la grandeur d'un pignon d'après sa roue qu'en faisant l'opération inverse.

---

*Remarque sur le pignon de 7.* — Le pignon de 7 n'ayant pas les ailes diamétralement opposées, ne pourra être mis directement aux divisions indiquées sur le tableau. Il faudra au préalable choisir

84/12

# Tableau indiquant la division à laquelle doivent se placer les roues pour divers compas de proportion

*(Les pignons étant mis exactement à leurs divisions respectives)*

| PIGNONS (ailes) | ROUES (dents) | EXCENTRICITÉ DES COMPAS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Normal | 1/10 | 2/10 | 3/10 | 4/10 | 5/10 | 6/10 | 7/10 | 8/10 | 9/10 | 10/10 |
| 14 | 42 | 41.9 | 42.1 | 42.3 | 42.5 | 42.7 | 42.9 | 43.1 | 43.3 | 43.5 | 43.7 | 43.9 |
| 12 | 120 | 111.9 | 112.8 | 113.6 | 114.4 | 115.3 | 116.1 | 116.9 | 117.8 | 118.6 | 119.4 | 120.3 |
| » | 108 | 101.1 | 101.8 | 102.5 | 103.3 | 104.0 | 104.8 | 105.5 | 106.3 | 107.0 | 107.7 | 108.5 |
| » | 96 | 90.2 | 90.8 | 91.5 | 92.1 | 92.8 | 93.4 | 94.1 | 94.7 | 95.4 | 96.0 | 96.7 |
| » | 90 | 84.7 | 85.3 | 86.0 | 86.6 | 87.2 | 87.8 | 88.4 | 89.0 | 89.6 | 90.2 | 90.8 |
| » | 84 | 79.3 | 79.9 | 80.4 | 81.0 | 81.5 | 82.1 | 82.7 | 83.2 | 83.8 | 84.3 | 84.9 |
| » | 80 | 75.7 | 76.2 | 76.7 | 77.3 | 77.8 | 78.3 | 78.9 | 79.4 | 79.9 | 80.4 | 81.0 |
| » | 72 | 68.4 | 68.9 | 69.4 | 69.8 | 70.3 | 70.8 | 71.2 | 71.7 | 72.2 | 72.6 | 73.1 |
| » | 60 | 57.5 | 57.9 | 58.3 | 58.7 | 59.0 | 59.4 | 59.8 | 60.2 | 60.6 | 60.9 | 61.3 |
| » | 48 | 46.6 | 46.9 | 47.2 | 47.5 | 47.8 | 48.1 | 48.3 | 48.6 | 48.9 | 49.2 | 49.5 |
| » | 36 | 35.7 | 35.9 | 36.1 | 36.3 | 36.5 | 36.7 | 36.9 | 37.1 | 37.3 | 37.5 | 37.7 |
| 10 | 100 | 93.6 | 94.4 | 95.3 | 96.1 | 97.0 | 97.8 | 98.6 | 99.5 | 100.3 | 101.1 | 102.0 |
| » | 90 | 84.5 | 85.3 | 86.0 | 86.8 | 87.5 | 88.3 | 89.0 | 89.8 | 90.5 | 91.3 | 92.0 |
| » | 80 | 75.5 | 76.1 | 76.8 | 77.4 | 78.1 | 78.8 | 79.4 | 80.1 | 80.7 | 81.4 | 82.0 |
| » | 76 | 71.9 | 72.5 | 73.1 | 73.7 | 74.3 | 74.9 | 75.6 | 76.2 | 76.8 | 77.4 | 78.0 |
| » | 75 | 70.9 | 71.6 | 72.2 | 72.8 | 73.4 | 74.0 | 74.6 | 75.2 | 75.8 | 76.4 | 77.0 |
| » | 70 | 66.4 | 67.0 | 67.5 | 68.1 | 68.7 | 69.2 | 69.8 | 70.4 | 70.9 | 71.5 | 72.1 |
| » | 64 | 61.0 | 61.5 | 62.0 | 62.5 | 63.0 | 63.5 | 64.0 | 64.5 | 65.0 | 65.6 | 66.1 |
| » | 60 | 57.3 | 57.8 | 58.3 | 58.8 | 59.2 | 59.7 | 60.2 | 60.7 | 61.1 | 61.6 | 62.1 |
| » | 50 | 48.3 | 48.6 | 49.0 | 49.4 | 49.8 | 50.2 | 50.6 | 50.9 | 51.3 | 51.7 | 52.1 |
| » | 40 | 39.2 | 39.5 | 39.8 | 40.0 | 40.3 | 40.6 | 40.9 | 41.2 | 41.5 | 41.8 | 42.1 |
| » | 30 | 30.1 | 30.3 | 30.5 | 30.7 | 30.9 | 31.1 | 31.3 | 31.5 | 31.7 | 31.9 | 32.1 |
| 8 | 80 | 73.5 | 74.3 | 75.1 | 76.0 | 76.8 | 77.6 | 78.4 | 79.2 | 80.1 | 80.9 | 81.7 |
| » | 72 | 66.4 | 67.2 | 67.9 | 68.6 | 69.3 | 70.1 | 70.8 | 71.5 | 72.3 | 73.0 | 73.7 |
| » | 64 | 59.3 | 60.0 | 60.6 | 61.3 | 61.9 | 62.5 | 63.2 | 63.8 | 64.5 | 65.1 | 65.8 |
| » | 60 | 55.8 | 56.4 | 57.0 | 57.6 | 58.2 | 58.8 | 59.4 | 60.0 | 60.6 | 61.2 | 61.8 |
| » | 56 | 52.3 | 52.8 | 53.4 | 53.9 | 54.5 | 55.0 | 55.7 | 56.1 | 56.7 | 57.2 | 57.8 |
| » | 48 | 45.2 | 45.6 | 46.1 | 46.6 | 47.0 | 47.5 | 47.9 | 48.4 | 48.9 | 49.3 | 49.8 |
| » | 40 | 38.1 | 38.4 | 38.8 | 39.2 | 39.6 | 39.9 | 40.3 | 40.7 | 41.1 | 41.4 | 41.8 |
| » | 32 | 31.0 | 31.2 | 31.5 | 31.8 | 32.1 | 32.4 | 32.7 | 33.0 | 33.3 | 33.5 | 33.8 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 70 | 63.5 | 64.3 | 65.1 | 65.9 | 66.7 | 67.5 | 68.3 | 69.1 | 69.9 | 70.7 | 71.5 |
| » | 63 | 57.4 | 58.1 | 58.8 | 59.5 | 60.3 | 61.0 | 61.7 | 62.4 | 63.1 | 63.8 | 64.6 |
| » | 56 | 51.3 | 51.9 | 52.5 | 53.2 | 53.8 | 54.4 | 55.1 | 55.7 | 56.3 | 57.0 | 57.6 |
| » | 49 | 45.2 | 45.7 | 46.3 | 46.8 | 47.4 | 47.9 | 48.4 | 49.0 | 49.5 | 50.1 | 50.6 |
| 6 | 66 | 58.6 | 59.4 | 60.3 | 61.2 | 62.1 | 62.9 | 63.8 | 64.7 | 65.6 | 66.5 | 67.3 |
| » | 60 | 53.5 | 54.2 | 55.0 | 55.8 | 56.6 | 57.4 | 58.2 | 59.0 | 59.8 | 60.6 | 61.4 |
| » | 54 | 48.3 | 49.0 | 49.8 | 50.5 | 51.2 | 51.9 | 52.6 | 53.3 | 54.0 | 54.7 | 55.4 |
| » | 48 | 43.2 | 43.8 | 44.5 | 45.1 | 45.7 | 46.3 | 46.9 | 47.6 | 48.2 | 48.8 | 49.4 |
| » | 45 | 40.7 | 41.2 | 41.8 | 42.4 | 43.0 | 43.6 | 44.1 | 44.7 | 45.3 | 45.9 | 46.4 |
| » | 42 | 38.1 | 38.6 | 39.2 | 39.7 | 40.2 | 40.8 | 41.3 | 41.9 | 42.4 | 42.9 | 43.5 |
| » | 36 | 33.0 | 33.4 | 33.9 | 34.3 | 34.8 | 35.2 | 35.7 | 36.1 | 36.6 | 37.0 | 37.5 |
| » | 30 | 27.9 | 28.2 | 28.6 | 28.9 | 29.3 | 29.7 | 30.0 | 30.4 | 30.8 | 31.1 | 31.5 |

## MINUTERIES. — Engrenages réciproques

(Les pleins sont égaux aux vides)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 48 | 40.1 | 40.4 | 40.6 | 40.8 | 41.1 | 41.3 | 41.5 | 41.8 | 42.0 | 42.2 | 42.5 |
| 10 | 40 | 32.7 | 32.9 | 33.2 | 33.4 | 33.6 | 33.8 | 34.1 | 34.3 | 34.5 | 34.7 | 35.0 |
| 8 | 32 | 25.4 | 25.6 | 25.8 | 26.0 | 26.2 | 26.5 | 26.7 | 26.9 | 27.1 | 27.3 | 27.6 |
| 14 | 42 | 36.4 | 36.6 | 36.8 | 36.9 | 37.1 | 37.2 | 37.4 | 37.6 | 37.7 | 37.9 | 38.1 |
| 12 | 36 | 30.8 | 30.9 | 31.1 | 31.3 | 31.4 | 31.6 | 31.7 | 31.9 | 32.0 | 32.2 | 32.4 |
| 10 | 30 | 25.2 | 25.3 | 25.5 | 25.6 | 25.8 | 25.9 | 26.1 | 26.2 | 26.4 | 26.5 | 26.7 |

(Les ailes sont les $^2/_5$ du pas)

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 48 | 41.5 | 41.7 | 41.9 | 42.2 | 42.4 | 42.7 | 42.9 | 43.2 | 43.4 | 43.7 | 43.9 |
| 10 | 40 | 33.9 | 34.2 | 34.4 | 34.6 | 34.9 | 35.1 | 35.4 | 35.6 | 35.8 | 36.1 | 36.3 |
| 8 | 32 | 26.5 | 26.7 | 26.9 | 27.2 | 27.4 | 27.6 | 27.9 | 28.1 | 28.3 | 28.5 | 28.8 |
| 14 | 42 | 37.9 | 38.0 | 38.2 | 38.4 | 38.5 | 38.7 | 38.9 | 39.0 | 39.2 | 39.4 | 39.6 |
| 12 | 36 | 31.8 | 32.0 | 32.1 | 32.3 | 32.5 | 32.6 | 32.8 | 33.0 | 33.1 | 33.3 | 33.5 |
| 10 | 30 | 26.1 | 26.3 | 26.4 | 26.6 | 26.7 | 26.9 | 27.1 | 27.2 | 27.4 | 27.5 | 27.7 |

**Tableau indiquant la division à laquelle doivent se placer pour divers compas de proportion les roues menant des pignons de 7 ailes, ceux-ci ayant deux ailes les plus éloignées sur chacun des traits formant la division 7**

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 70 | 65.1 | 65.9 | 66.7 | 67.6 | 68.4 | 69.2 | 70.1 | 70.9 | 71.7 | 72.6 | 73.4 |
| » | 63 | 58.8 | 59.6 | 60.3 | 61.1 | 61.8 | 62.6 | 63.3 | 64.0 | 64.8 | 65.5 | 66.3 |
| » | 56 | 52.6 | 53.2 | 53.9 | 54.5 | 55.2 | 55.9 | 56.5 | 57.2 | 57.8 | 58.5 | 59.1 |
| » | 49 | 46.3 | 46.9 | 47.5 | 48.0 | 48.6 | 49.1 | 49.7 | 50.3 | 50.8 | 51.4 | 52.0 |

14.7
62.5
6.8

un trou où il passe sans ébat, et ensuite prendre une tige cylindrique s'ajustant dans ce trou. Le diamètre de cette tige donnera le diamètre total du pignon. On opèrera alors avec cette tige comme s'il s'agissait réellement du pignon. On peut remplacer cette tige par un pignon d'un nombre pair d'ailes.

Si l'on ne veut pas faire toutes les manipulations précédentes, on peut faire usage de la table ci-avant calculée pour les pignons de 7 ailes mesurés sur deux ailes les plus éloignées.

*Exemple :* Soit à vérifier les dimensions d'une roue de 70 menant un pignon de 7 ailes, à l'aide d'un compas de proportion d'excentricité $^7/_{10}$.

On placera la roue, ainsi que l'indique le tableau précédent, à la division 70.9, et le pignon devra avoir deux ailes, les plus éloignées, l'une sur le trait 7 de la branche de gauche, l'autre sur le trait correspondant de la branche de droite.