# QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR LE TRACÉ DES CHAINES GALLE

P. ANGLÈS D'AURIAC
Ingénieur de l'Ecole Polytechnique

## POSITION DE LA QUESTION

En général le choix des caractéristiques d'une chaîne Galle s'inspire à la fois de calculs mathématiques et d'un certain empirisme.

Le calcul intervient au point de vue de la résistance. Il peut déterminer certains éléments d'une façon assez précise : épaisseur et largeur des flasques, diamètre des fuseaux, nombre des noix, portée des dents.

En revanche il y a une grosse part d'appréciation dans le choix des jeux : jeu entre le diamètre des fuseaux et celui des creux du pignon — jeu entre le diamètre des fuseaux et le trou des flasques — différence entre le pas de construction de la chaîne et celui de la roue dentée. Toutes ces caractéristiques sont abandonnées au flair de l'ingénieur qui, armé de son crayon, cherche un compromis entre ce que son inspiration lui dicte et ce qu'on a déjà fait.

Il semble pourtant qu'il y ait là matière à calcul. Ne connaissant pas d'étude mathématique sur la question, nous avons cru bon d'en entreprendre une. Comme on le verra, les résultats de cette étude se condensent en un petit nombre de notions et de formules élémentaires.

Bien entendu nous n'avons pu obtenir cette simplicité sans consentir certaines approximations. Cela a d'autant moins d'importance que les paramètres à définir sont des grandeurs aléatoires du fait des erreurs de fabrication. La loi de probabilité de ces grandeurs aléatoires n'est pas suffisamment connue pour être introduite explicitement dans les calculs. Nous avons donc, comme d'habitude, défini simplement les limites des courbes en cloches, c'est-à-dire ce qu'on appelle vulgairement les tolérances.

En définitive, notre méthode de calcul donne deux choses : un procédé mathématique pour éliminer le risque d'un défaut grave pour la chaîne, et des éléments permettant de guider l'intuition pour le choix de la meilleure solution.

## CONSIDERATIONS GENERALES

Le fonctionnement de la chaîne pose tout d'abord un problème de statique. On conçoit que, selon la valeur des poids pendus aux deux brins de la chaîne, celle-ci puisse avoir tendance à glisser un peu, soit d'un côté, soit de l'autre. Cela dépend de la position des points de tangence des fuseaux avec les creux ainsi que du coefficient de frottement.

D'autre part, si l'on connaît les caractéristiques géométriques de la chaîne et du pignon, il y a évidemment une relation entre les positions par rapport à la roue des points de tangence de 2 fuseaux consécutifs. On conçoit donc que, du seul fait de l'engrènement, la chaîne change de position par rapport au pignon. Tel est le deuxième problème, cinématique celui-là, que nous avons à étudier.

On voit tout de suite le lien entre ces deux problèmes. Si l'engrènement amène la chaîne à sortir de la zone d'équilibre, elle y reviendra par glissement des fuseaux dans les creux. Il serait mauvais que ces glissements soient trop fréquents, car il en résulterait une usure prématurée du matériel.

Une première considération est donc de chercher à éviter que l'engrènement ne fasse sortir la chaîne de la zone d'équilibre.

Par ailleurs il faut également éviter que les points de tangence des fuseaux avec le pignon ne s'éloignent par trop du fond des creux, autrement dit que la chaîne monte le long des dents. L'inconvénient serait double : d'une part les dents travailleraient moins bien ; d'autre part la chaîne aurait tendance à échapper, c'est-à-dire sauter une dent. Il est vrai que la roue dentée possède une ceinture extérieure qui empêche précisément la chaîne d'échapper. Mais l'action de cette ceinture est assez brutale puisqu'elle coince un fuseau et lui impose un glissement sous forte charge. C'est pourquoi il vaut mieux considérer cette ceinture comme une sécurité supplémentaire et s'arranger de façon qu'elle n'ait pas à jouer normalement.

Troisième considération : le jeu entre le diamètre des fuseaux et celui des creux doit être aussi faible que possible afin de diminuer la pression de contact.

## SCHEMA DE FONCTIONNEMENT ET DEFINITIONS

De la roue dentée partent 2 brins. L'un supporte un poids important P, par exemple une vanne. L'autre un faible poids p, une fraction de la chaîne.

Quand P monte, la roue travaille en moteur et nous dirons que la chaîne travaille à la montée. Dans le cas contraire, la roue travaille en frein et nous dirons que la chaîne travaille à la descente.

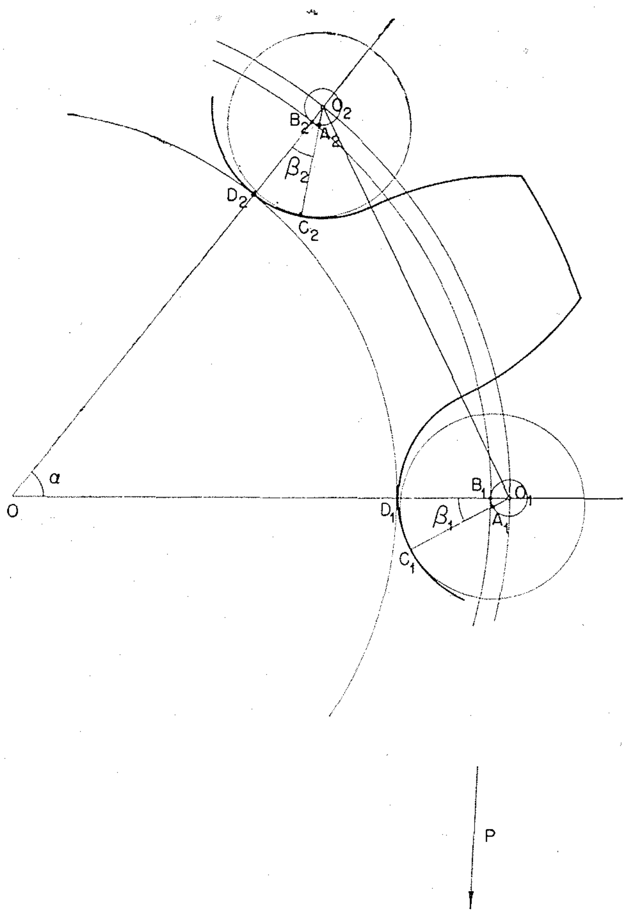


Fig. 1

Soit O le centre de la roue dentée (fig. 1). La roue comporte n dents. Le pas angulaire

est $\alpha = \dfrac{2\pi}{n}$

Le rayon à fond de denture est

$$r = OD_1 = OD_2 = \ldots$$

Le rayon des fuseaux est $a$

Le rayon des creux $a + \varepsilon$

Si tous les fuseaux étaient tangents au fond des creux en $D_1$ $D_2$ .... les centres des fuseaux se trouveraient en $B_1$ $B_2$ ....

Le cercle de centre O et de rayon $R = r + a$ est appelé cercle primitif. Il passe par $B_1$ $B_2$ ...

Soient $O_1$ $O_2$ .... le centre des creux

$$OO_1 = OO_2 = \ldots\ldots R + \varepsilon$$

Du fait du jeu $\varepsilon$ le centre des fuseaux ne coïncidera pas avec le centre des creux $O_1$ $O_2$ .... mais se trouvera quelque part sur les petits cercles de rayon $\varepsilon$ et de centres $O_1$ $O_2$ .... ;

Soient $A_1$ $A_2$ .... les centres des fuseaux, les points de contact des fuseaux avec les creux seront $C_1$ $C_2$ ....

La position des fuseaux est entièrement définie par les angles

$$\beta_1 = OO_1C_1$$
$$\beta_2 = OO_2C_2$$
etc.

Les $\beta$ sont positifs quand les points C sont, par rapport aux points D, décalés vers P ; négatifs, décalés vers p.

Nous appelons pas théorique de la chaîne la distance $B_1B_2 = B_2B_3 = \ldots$. C'est la distance qu'il y aurait entre les centres des fuseaux si ceux-ci étaient tangents à fond de creux en $D_1$ $D_2$ .... et si la construction de la roue était parfaite.

Nous appelons pas de construction l'entr'axe de perçage des trous des mailles.

Nous appelons pas réel de la chaîne la distance $A_1A_2$ c'est la distance réelle des centres de 2 fuseaux consécutifs.

Pas théorique $= h$
Pas réel $= h + \eta$

Le pas réel est égal au pas de construction, plus le jeu dans les trous, plus l'allongement (élastique ou non) des mailles.

## PROBLEME STATIQUE

L'équilibre de la chaîne dépend du coefficient de frottement et de la position des fuseaux par rapport aux creux, laquelle est définie par les angles $\beta$.

Pour fixer les idées, considérons une roue à 8 dents et supposons que l'axe de la dent n° 1, la première en prise du côté de P, soit horizontal.

Voir figure 2 où la chaîne est représentée schématiquement.

Le cercle est le cercle primitif. Les chaînons sont les droites 1, 2, 3, 4 et 5.

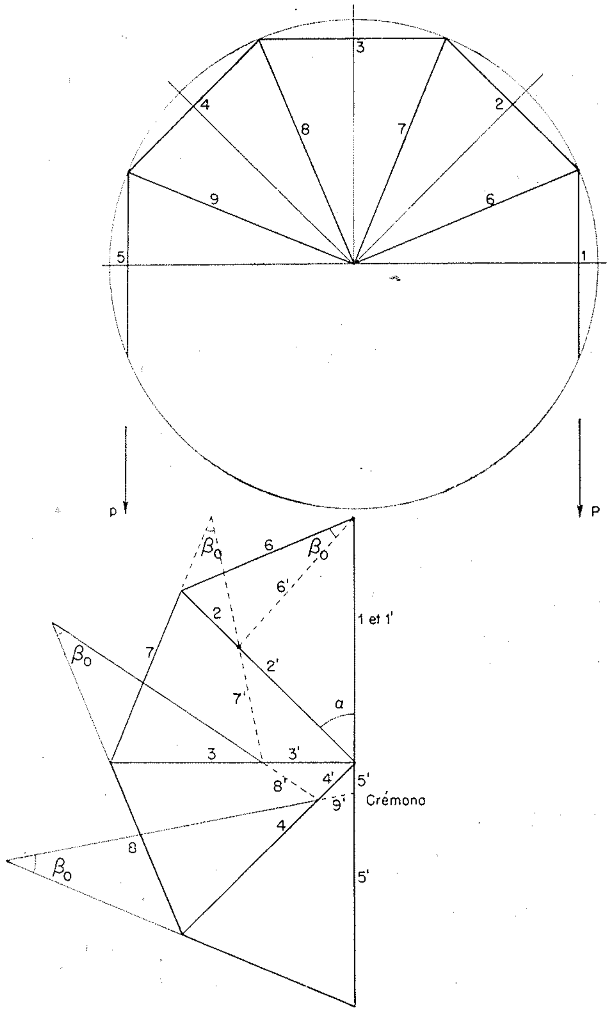


Fig. 2

Supposons d'abord que les $\beta$ soient nuls et qu'il n'y ait pas de frottement. Les réactions sur les fuseaux sont alors dirigées selon les rayons 6, 7, 8 et 9.

Le crémona montre immédiatement que les efforts dans les chaînons 1, 2, 3, 4, 5 sont égaux (de même que les réactions des fuseaux 6, 7, 8, 9). Ce cas suppose donc $p = P$ ce qui n'a pas lieu en général.

Supposons maintenant que le frottement soit toujours nul mais que tous les angles $\beta$ soient égaux et $\neq 0$.

Les réactions des fuseaux au lieu d'être représentées sur le crémona par les côtés du polygone régulier 6, 7, 8, 9 le sont par une ligne brisée rentrant en spirale 6', 7', 8', 9' et les efforts dans les chaînons sont les rayons de cette spirale 1', 2', 3', 4' et 5'.

Il est évident que $$\frac{5'}{4'} = \frac{4'}{3'} = \frac{3'}{2'} = \frac{2'}{1}$$

D'autre part on peut démontrer que la valeur commune de ces rapports est

$$\frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{n} + \beta\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{n} - \beta\right)}$$

Nous avons donc, dans ce cas particulier

$$\frac{p}{P} = \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{8} + \beta\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{8} - \beta\right)}\right)^4$$

et dans le cas général

$$\boxed{\frac{p}{P} = \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{n} + \beta\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{n} - \beta\right)}\right)^{\frac{n}{2}}} \qquad (1)$$

Cette formule n'est rigoureuse que pour $n$ pair et pour la position considérée de la roue. Par raison de continuité, nous la supposons approximativement juste pour toutes les valeurs de $n$ et toutes les positions de la roue.

Considérons maintenant le cas où il y a frottement.

Soit $\varphi$ l'angle que fait la réaction avec le rayon $OO_1$

Nous aurons

$$\beta - f < \varphi < \beta + f$$

f étant l'angle de frottement.

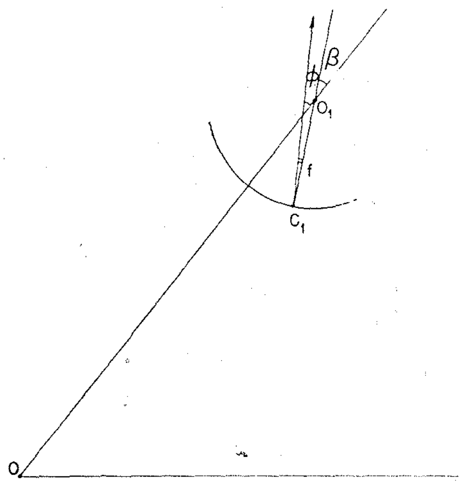

Fig. 3

Pour $\beta$ donné l'équilibre aura lieu à condition que l'on ait

$$\boxed{\left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{n}+\beta+f\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{n}-\beta-f\right)}\right)^{\frac{n}{2}} < \frac{p}{P} < \left(\frac{\cos\left(\frac{\pi}{n}+\beta-f\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{n}-\beta+f\right)}\right)^{\frac{n}{2}}} \quad (2)$$

Cette formule jointe à la condition

$$O < \frac{p}{P} < 1$$

permet de faire une discussion complète.

## PROBLEME CINEMATIQUE

Reportons-nous à la fig. 1

$B_1 B_2 = h =$ pas théorique

$A_1 A_2 = h + \eta =$ pas réel.

Si l'on connaît $\beta_1$, d'où $A_1$, la longueur $A_1 A_2$ détermine le point $A_2$ d'où $\beta_2$. Il y a donc une relation de récurrence entre $\beta_1$ et $\beta_2$. On la trouve sans peine en prenant comme axe des x la bissectrice de l'angle $\alpha$ et en déterminant les coordonnées des points $A_1$ $B_1$. $A_2$ $B_2$.

On calcule h et $h + \eta$ en négligeant les termes du second ordre et l'on obtient

$$\eta = \varepsilon \left[ 2 \sin \frac{\alpha}{2} - \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \beta_2\right) - \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \beta_1\right)\right]$$

d'où l'on tire

$$\boxed{\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta_2 - \beta_1}{2}\right) = \frac{\sin \frac{\alpha}{2} - \frac{\eta}{2\varepsilon}}{\cos \frac{\beta_2 + \beta_1}{2}}} \quad (3)$$

Une valeur remarquable de $\beta$ est celle qui se maintient constante au cours de l'engrènement. On l'obtient en faisant

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_0$$

il vient

$$1 - \cos \beta_0 = \frac{\eta}{2\,\varepsilon \sin \frac{\alpha}{2}}$$

et en utilisant $h = 2 R \sin \frac{\alpha}{2}$

$$\boxed{\sin \frac{\beta_0}{2} = \sqrt{\frac{\eta R}{2\,\varepsilon\, h}}} \quad (4)$$

Etudions maintenant la variation de $\beta$ au voisinage de $\beta_0$

Posons

$$\beta_1 = \beta_0 - \gamma_1$$
$$\beta_2 = \beta_0 - \gamma_2$$

avec $\gamma_1$ et $\gamma_2$ petits

La formule 3 donne

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2}\right) \cos\left(\beta_0 - \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}\right) = \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{\eta}{2\varepsilon}$$

On a aussi

$$\sin \frac{\alpha}{2} \cos \beta_0 = \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{\eta}{2\varepsilon}$$

En égalant ces 2 expressions, en développant et en posant

$$\cos \gamma = 1$$
$$\sin \gamma = \gamma$$

on arrive sans peine au résultat suivant

$$\boxed{\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta_0\right)}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \beta_0\right)}} \quad (5)$$

Cette formule montre que $\gamma_1$ et $\gamma_2$ sont toujours de même signe et que $\gamma_1$ est $< \gamma_2$ en valeur absolue.

Dans le voisinage de la valeur stationnaire $\beta_0$, les angles $\gamma_1$ $\gamma_2$ .... $\gamma_n$ forment une progression géométrique divergente dans le sens $\gamma_1$ $\gamma_2$ $\gamma_3$ .... et convergente dans le sens $\gamma_1$ $\gamma_0$ $\gamma_{-1}$...

Rappelons que la numérotation 1, 2, 3 .... a été choisie de P vers p. Ceci nous montre que quand la chaîne travaille à la montée, les angles $\beta$ **ont tendance à se centrer sur la valeur** $\beta_0$, au contraire à la descente les angles $\beta$ **s'écartent de plus en plus de** $\beta_0$ **.**

Nous venons d'établir cette propriété pour le voisinage immédiat de $\beta_0$ mais il serait facile de montrer qu'elle subsiste dans toute la zone utile des $\beta$.

Nous voyons maintenant que le problème d'éviter les glissements de la chaîne se pose tout différemment à la montée et à la descente. A la montée il suffit de placer $\beta_0$ à l'intérieur de la zone d'équilibre et aussi près du milieu que possible. Dès que les $\beta$ seront à l'intérieur de la zone d'équilibre, ils tendront vers $\beta_0$ sans qu'aucun glissement se produise. Seule une erreur accidentelle importante sur le pas d'un maillon pourra faire sortir $\beta$ de la zone d'équilibre et provoquer un glissement, ce qui ne se produira que rarement.

Au contraire, à la descente, les $\beta$ s'écartant de $\beta_0$ auront toujours tendance à sortir de la zone d'équilibre et les glissements perpétuels sont inévitables. Remarquons d'ailleurs qu'ils sont moins nocifs qu'à la montée car la chaîne travaille sous une charge moindre (les frottements se retranchant au lieu de s'ajouter). Le problème n'est plus alors d'éviter les glissements, mais d'éviter que les fuseaux viennent buter contre la ceinture de garde, ce qui sera réalisé si les fuseaux sortent de la zone d'équilibre avant de toucher la ceinture de garde, c'est-à-dire si la zone d'équilibre ne s'étend pas jusqu'à la ceinture de garde.

Le problème se pose donc de savoir où l'on place la ceinture de garde. En considérant la figure 4 on constate que la partie circulaire concave du profil de la roue dentée se limite à $\beta = \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{\alpha}{2}$. Au delà de cet angle il y a un cercle convexe dont le centre est le centre du creux adjacent.

Il est indiqué de disposer la ceinture de garde de façon que $\beta$ reste inférieur à $\dfrac{\pi}{2} - \dfrac{\alpha}{2}$.

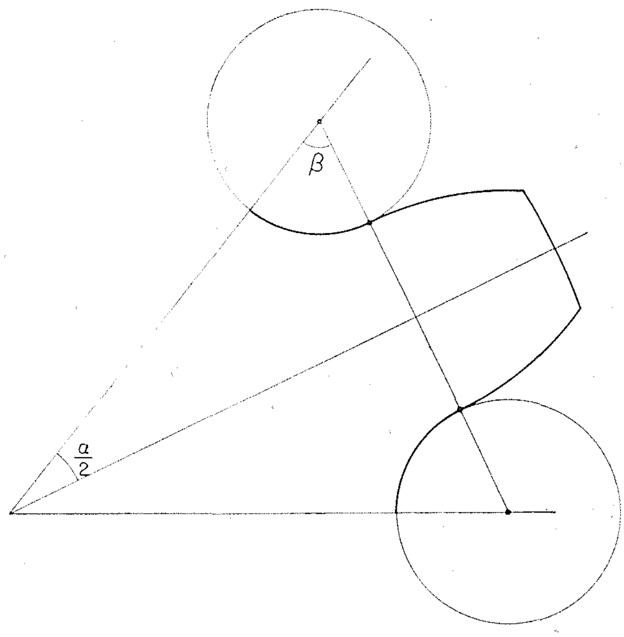


Fig. 4

En portant cette valeur dans le dernier membre de la formule 2 nous obtenons la condition à réaliser pour que les fuseaux ne viennent pas buter contre la ceinture.

$$\frac{p}{P} > \left( \frac{\cos \left( \dfrac{\pi}{n} + \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{\alpha}{2} - f \right)}{\cos \left( \dfrac{\pi}{n} - \dfrac{\pi}{2} + \dfrac{\alpha}{2} + f \right)} \right)^{\frac{n}{2}} \qquad (7)$$

En tenant compte de $\dfrac{\pi}{n} = \dfrac{\alpha}{2}$ on écrit la relation

$$\frac{p}{P} > \left( \frac{\sin f}{\sin (\alpha + f)} \right)^{\frac{n}{2}} \qquad (6)$$

On voit que si le frottement était nul la relation 6 serait toujours réalisée. Comme f est petit on peut écrire :

$$\frac{p}{P} > \left( \frac{f}{\sin \alpha + f \cos \alpha} \right)^{\frac{n}{2}}$$

Si nous revenons au cas considéré plus haut $n = 8 \quad \alpha = \dfrac{\pi}{4}$ il vient

$$\frac{p}{P} > \left( \frac{f \sqrt{2}}{1 + f} \right)^{4}$$

En prenant $f = 0{,}1$ nous obtenons

$$\frac{p}{P} > \frac{1}{3.650}$$

Cette relation est facile à satisfaire à condition d'y penser. Elle conduit à conserver un nombre suffisant de maillons pendant du côté $p$. Si le nombre des maillons pendants était insuffisant pour réaliser le poids $p$ nécessaire, il serait facile d'imaginer un dispositif à frottement qui n'entrerait en action qu'à la descente, c'est-à-dire augmenterait $p$ à la descente sans le changer à la montée.

## ANALYSE DES ERREURS DE FABRICATION

Il faut distinguer les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles. Les premières modifient forcément la valeur de l'angle stationnaire $\beta_0$ ; les secondes peuvent se compenser. Dans ce cas $\beta_0$ n'est pas changé mais il se produit par rapport à ce $\beta_0$ de petites déviations momentanées. Si les erreurs accidentelles ne se compensent pas exactement, c'est leur valeur moyenne et non leur valeur maximum qui déterminera $\beta_0$, et les écarts par rapport à cette valeur moyenne, se compensant par définition, ne provoqueront que des déviations passagères.

La meilleure façon de montrer comment on applique les formules ci-dessus, une fois fixées les tolérances, est de donner un exemple et c'est ce que nous faisons ci-dessous.

Roue à 8 dents
$\alpha = 45°$

La limite des creux est

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} = 67° \ 30'$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0{,}38268$$

Le rayon à fond de denture est $r = 250$ mm. La tolérance est $\pm$ 0,1 mm sur le rayon. Nous supposons l'erreur systématique, ce qui est défavorable. Les erreurs sur $\alpha$ se compensent forcément puisque la somme de 8 $\alpha$ consécutifs fait $2\pi$. Nous négligeons les erreurs sur $\alpha$.

Le rayon des fuseaux est 45 mm $\pm$ 0,015

Le rayon du cercle primitif sera

$$R = 295 \pm 0{,}115$$

Le pas théorique est

$$h = 2 R \sin \frac{\alpha}{2} = 590 \times 0{,}38268$$

$$h = 235{,}78 \text{ mm.}$$

L'erreur de 0,115 sur le cercle primitif se traduit sur le pas théorique par une erreur de $0{,}115 \times 2 \times 0{,}38268 = 0{,}088$ mm.

L'erreur sur le pas réel provient de l'erreur sur les fuseaux $\pm\ 2 \times 0{,}015 = \pm\ 0{,}03$.

L'erreur sur l'alésage des trous
$\pm\ 2 \times 0{,}02 = \pm\ 0{,}04$

L'erreur sur l'entr'axe des trous $\pm$ 0,03

Erreur totale $\pm$ 0,1

L'erreur totale sur $\eta$ sera donc
$\pm\ (0{,}1 + 0{,}088) = \pm\ 0{,}188$

Cette erreur est l'erreur maximum qui puisse se produire en supposant que toutes les erreurs élémentaires soient systématiques et qu'elles se produisent dans le même sens. Il faudrait par exemple que l'on ait à la fois : $r$ trop petit, $a$ trop petit, alésage des trous trop grand, entr'axe des trous trop grands.

## CHOIX DE $\varepsilon$ ET DE $\eta$

Essayons d'abord de faire coïncider le centre de la zone d'équilibre avec la valeur probable de $\beta_0$.

Le centre de la zone d'équilibre est donné par la formule I qui s'écrit encore

$$\operatorname{tg} \frac{\pi}{n} \operatorname{tg} \beta = \frac{1 - \left(\frac{p}{P}\right)^{\frac{2}{n}}}{1 + \left(\frac{p}{P}\right)^{\frac{2}{n}}}$$

$p = 200$ k
$P = 90.000$ k
$n = 8$
$\operatorname{tg} \beta = 1{,}555$ $\qquad \beta = 57° \ 20,$

Un frottement de 0,1 correspond à un angle de 5° 45'. La zone d'équilibre s'étendra donc de 51 ° 35' à 63 ° 5'.

Nous vérifions que $63° \ 5' < 67° \ 30'$ ce qui fait que les fuseaux sortent de la zone d'équilibre avant de venir taper contre la ceinture de garde.

Nous le savions d'avance puisque la condition $\frac{p}{P} > \frac{1}{3650}$ est réalisée.

Portons la valeur $\beta = 57° 20'$ dans la formule 4

$$\frac{\eta}{\varepsilon} = \frac{2h}{R} \sin^2\frac{\beta}{2} = \frac{2 \times 236}{295} \times \overline{0{,}48226}^{\,2} = 0{,}372$$

Nous voyons que $\eta$ et $\varepsilon$ ne sont donnés que par leur rapport. Il semble que l'on ait intérêt à réduire $\eta$ de façon à avoir $\varepsilon$ petit. Mais on est limité dans cette voie par le fait que si l'on réduit $\eta$ l'importance relative des erreurs de fabrication augmente et, par suite, la déviation qui en résulte pour $\beta$.

Essayons $\varepsilon = 2$ mm
d'ou $\eta = 0{,}372 \times 2 = 0{,}744$ mm.

Nous avons vu plus haut que l'erreur maximum sur $\eta$ est $\pm$ 0,188. La valeur de $\eta$ sera donc comprise entre les 2 limites

$$\eta_1 = 0{,}744 - 0{,}188 = 0{,}556$$
$$\eta_2 = 0{,}744 + 0{,}188 = 0{,}932$$

Les valeurs correspondantes de $\beta$ sont données par

$$\sin^2\frac{\beta}{2} = \frac{R}{2h}\,\frac{\eta}{\varepsilon} = \begin{cases} 0{,}1738 \\ 0{,}2915 \end{cases}$$

$$\beta_1 = 49° 10'$$
$$\beta_2 = 65° 10'$$

Telles sont les limites extrêmes entre lesquelles peut se trouver l'angle stationnaire $\beta_0$, si l'erreur de 0,188 sur $\eta$ est considérée comme systématique, ce qui est évidemment défavorable. Si cette même erreur était accidentelle et unique, les limites de $\beta_0$ seraient resserrées et on pourrait les calculer à partir de la formule 5.

De toute façon, nous remarquons que la zone 49° 10' ... 65° 10' est tout entière en deça de la limite des creux : 67° 30', ce qui est le principal, et en outre qu'elle ne déborde que très peu sur la zone d'équilibre 51° 35' ... 63° 5' ce qui fait que les glissements sont très peu probables et, en tous cas, seront très peu fréquents et de peu d'amplitude. Ils ne peuvent se produire que s'il y a plusieurs fois de suite l'erreur maximum se produisant dans le même sens.

Nous adoptons donc la solution $\varepsilon = 2$ mm $\eta = 0{,}744$. Ce que nous cherchons c'est le pas de construction. Nous devons tenir compte de l'allongement élastique des maillons en tension. C'est le calcul de résistance qui nous le fournit. Supposons que cet allongement soit 0,1 mm. Nous avons donc au repos $\eta = 0{,}644$. L'erreur sur le rayon des fuseaux étant $\pm$ 0,015 et celle sur le rayon des trous $\pm$ 0,02, nous choisissons un jeu radial de 0,035 entre les valeurs moyennes de ces rayons. Le pas de construction sera donc

$$235{,}78 + 0{,}644 - 0{,}07 = 236{,}354$$

Finalement nous fixerons les cotes suivantes :

$$r = 250 \pm 0{,}1$$
$$a = 45 \pm 0{,}015$$

rayon des creux = 47 $(\varepsilon = 2)$
rayon des trous 45,035 $\pm$ 0,02
pas théorique $h = 235{,}78$
pas de construction = 236,35 $\pm$ 0,03

## CONCLUSIONS

Si l'on compare la chaîne définie ci-dessus aux chaînes habituellement construites on trouve une certaine concordance sur $\varepsilon$. Par contre le pas de construction des chaînes usuelles est nettement plus petit que celui donné par notre méthode. La conséquence de ce pas trop court est la suivante : les $\beta_0$ stationnaires sont presque toujours plus petits que les $\beta$ de la zone d'équilibre et la chaîne glisse perpétuellement pour retrouver ses positions d'équilibre.

Autre remarque : dans certaines installations on n'a pas pris soin de satisfaire à la formule 6 (en faisant p suffisamment grand) de sorte que, à la descente, c'est la ceinture de garde qui empêche constamment la chaîne de grimper sur les dents.