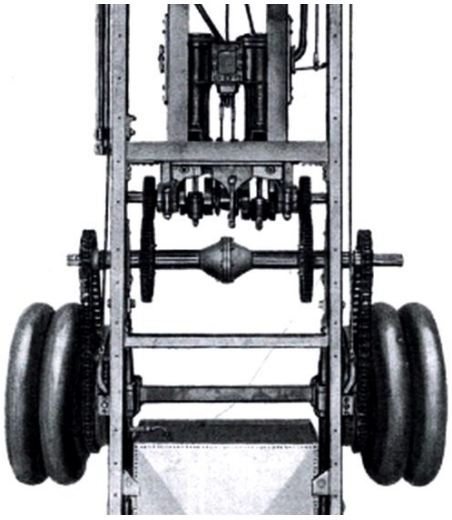
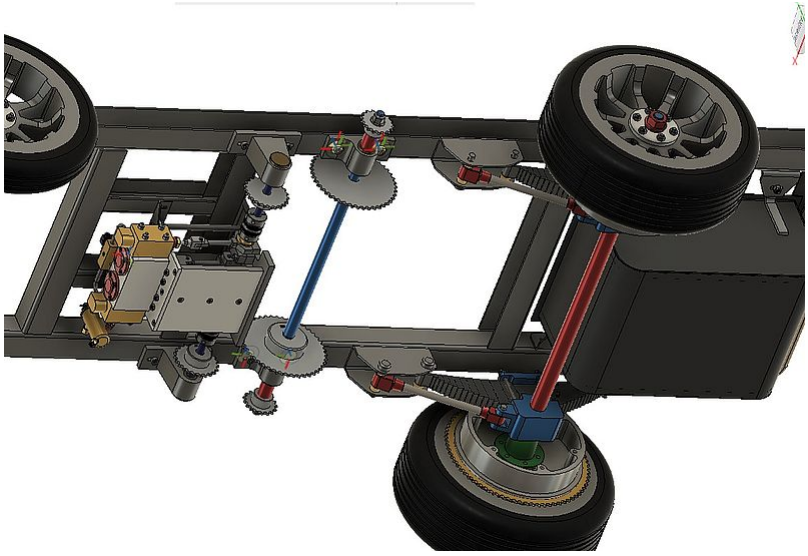
FICHE TECHNIQUE
TRANSMISSION PAR CHAÎNE

FPe26

Nous nous sommes intéressés aux transmissions à chaînes, car l'un de nos projets, le camion à vapeur PURREY, employait ce type de transmission. Sur la photo on distingue l'arbre primaire en prise directe avec le moteur. Cet arbre engrenait sur un arbre intermédiaire muni d'un différentiel probablement de type à friction. Cet arbre intermédiaire entraînait ensuite l'arbre final arrière.





(Chaînes et différentiel non représentés sur notre modèle 3D)

Pour équiper notre modèle il existe des micros chaînes au pas de 3 mm et 4 mm, mais celles-ci n'étant pas standards, elles sont chères et pas très faciles à se procurer. Nous avons opté pour de la micro chaîne au pas de 6 mm.

Dans ce document nous allons exposer quelques éléments techniques sur les transmissions par chaînes à rouleaux. Nous n'aborderons pas la durée de vie ni la puissance admissible qui sont sans objet pour notre application. Pour fixer les idées une chaîne de pas p = 6 mm a une limite de rupture à 3000 N soit environ 306 kg.f

1. CHAINES A ROULEAUX

Ces chaînes présentent des avantages :

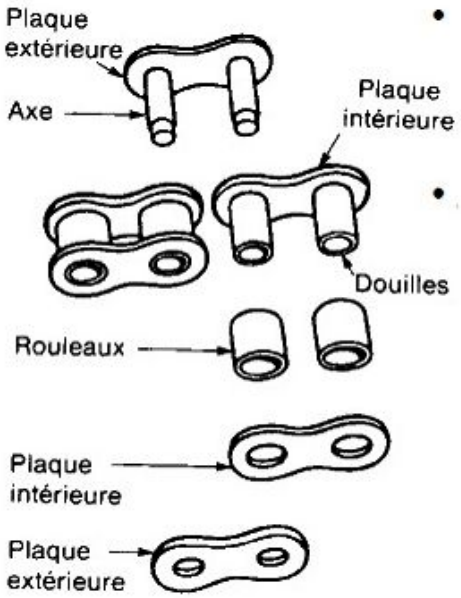
- glissement quasi nul, donc bonne synchronisation
- très bon rendement de transmission (entre 0,9 et 0,98)
- longue durée de vie
- facilité d'installation et de réglage

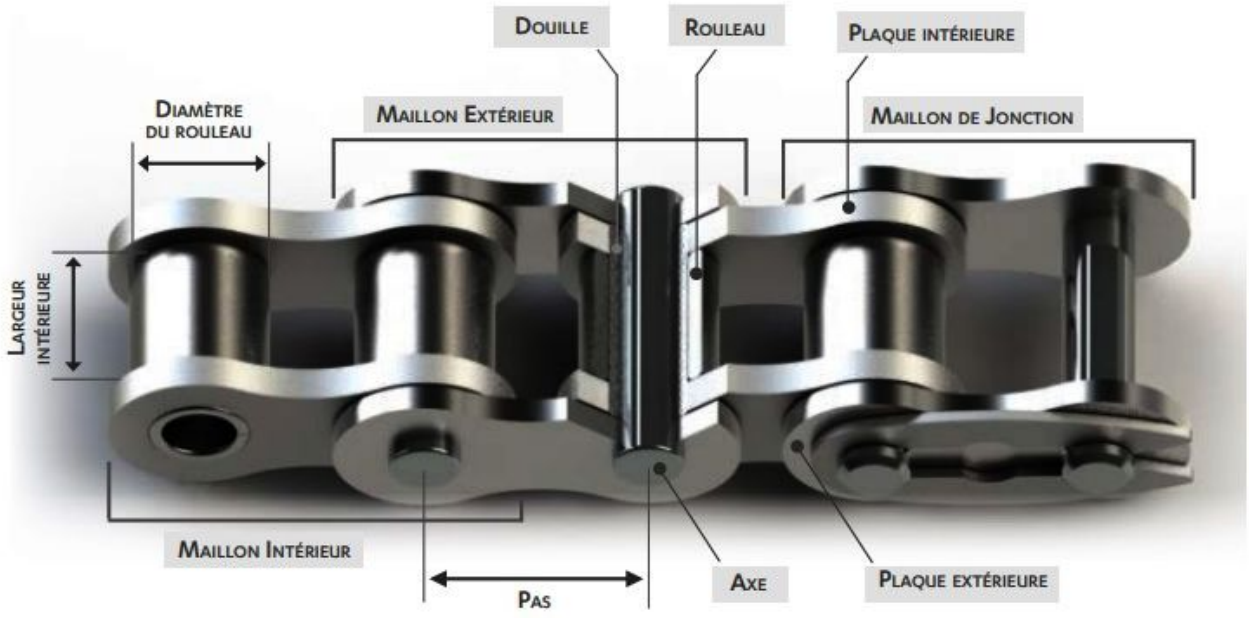
Par contre elles sont assez bruyantes et nécessitent un entretien et une lubrification méthodiques.
Les chaînes n'ont pas d'élasticité. Elles s'usent plus vite lorsqu'il y a des chocs et des vibrations dans la transmission.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TRANSMISSION PAR CHAÎNE

FPe26





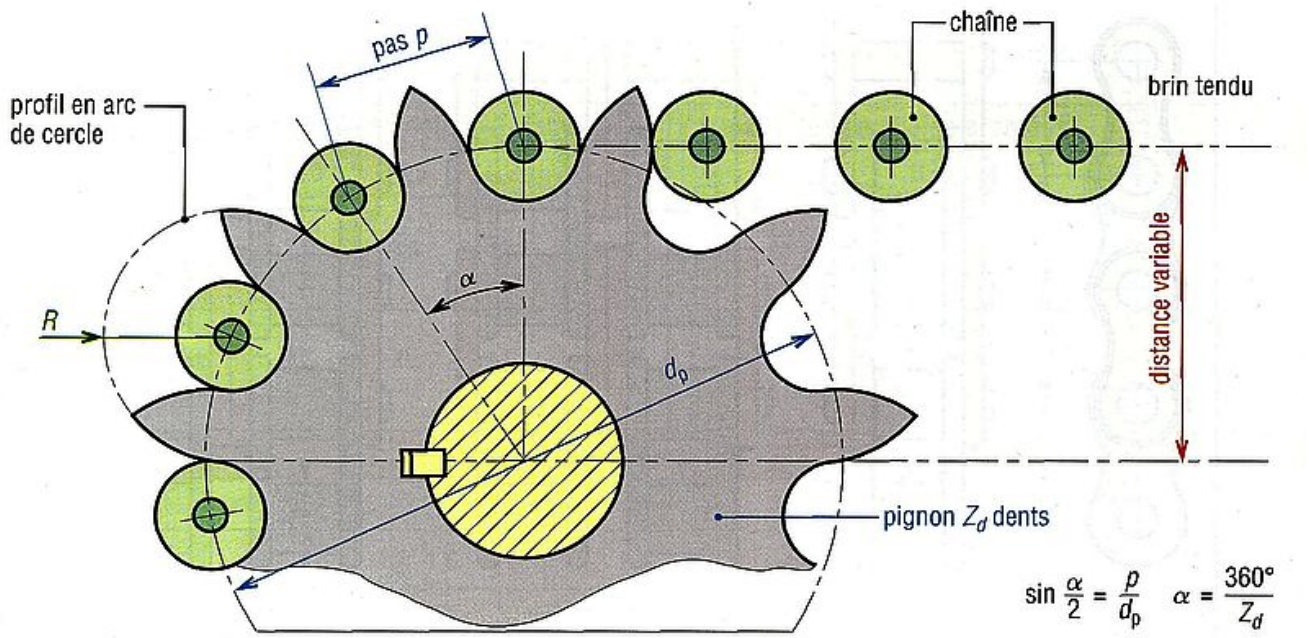
Source : SEDIS transmissions

Si on souhaite usiner les pignons et les roues pour un usage modéliste, on peut se simplifier la tâche en admettant que les dents des chaînes à rouleaux courantes sont générées par de simples arc de cercles. On se reportera à l'Annexe pour plus de détails.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TRANSMISSION PAR CHAÎNE

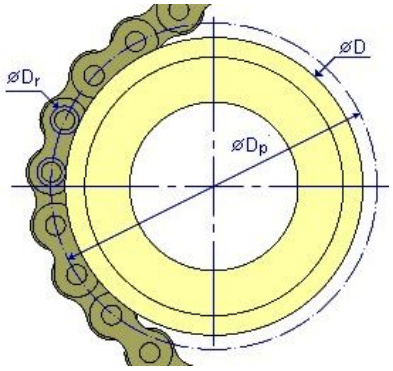
FPe26



2. NOMENCLATURE D'UNE CHAINE

Tout comme pour les engrenages on définit un diamètre primitif **Dp** et un nombre de dents **Z**.

$$D_p = \frac{p}{\sin\frac{\pi}{z}}$$

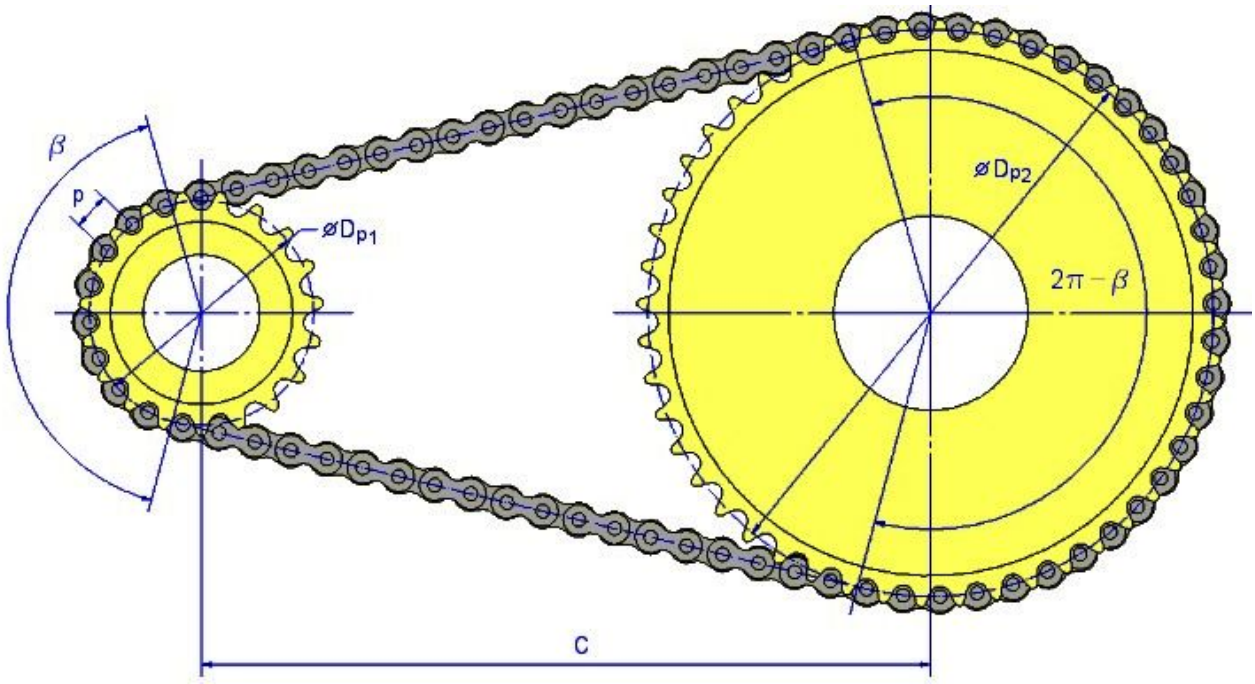


Attention : avec la formule ci-dessus, sur votre calculette, les fonctions trigonométriques doivent être en mode radians. On pourra prendre Pi=3,141593

Exemple : Calculette en mode degrés ; p = 6 mm N = 19
Dp = 6 / sin(180/19) = 6 / 0,1646 = 36,45 mm

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

3. MECANISME D'ENGRENEMENT

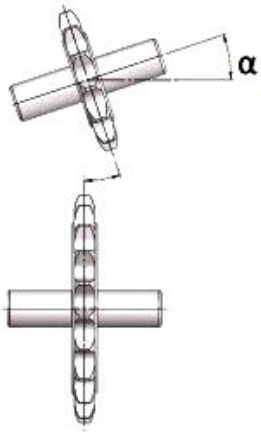


Sur la vue ci-dessus on voit clairement que le secteur d'engrènement défini par l'angle Bêta dépend du pas, de l'entraxe et de la taille du pignon (ou de la roue).

On conseille d'avoir un angle Bêta supérieur à 120°.

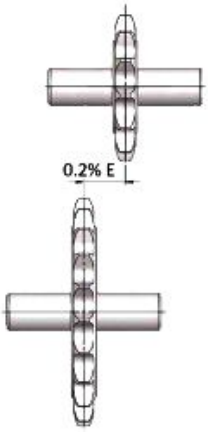
Le défaut de parallélisme des arbres doit être inférieur à 40' d'angle avec une chaîne simple et 20' avec une chaîne multiple. 1' = 1/60 = 0,0167°

Le défaut d'alignement des pignons doit être inférieur à 0,2% de l'entraxe, cette limite descendant à 0,1% pour les transmissions rapides. Si on ne peut éviter le mouvement longitudinal de l'arbre, il faut aligner les pignons en position moyenne.



tolérance de parallélisme

α = 40' pour chaîne simple
= 20' pour chaîne multiple



tolérance d'alignement

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Le voile et le faux rond de la denture qui, de fabrication ne sont pas supérieurs à ce que prescrit la norme ISO 606, ne doivent pas être perturbés par le montage (par exemple par le clavetage).

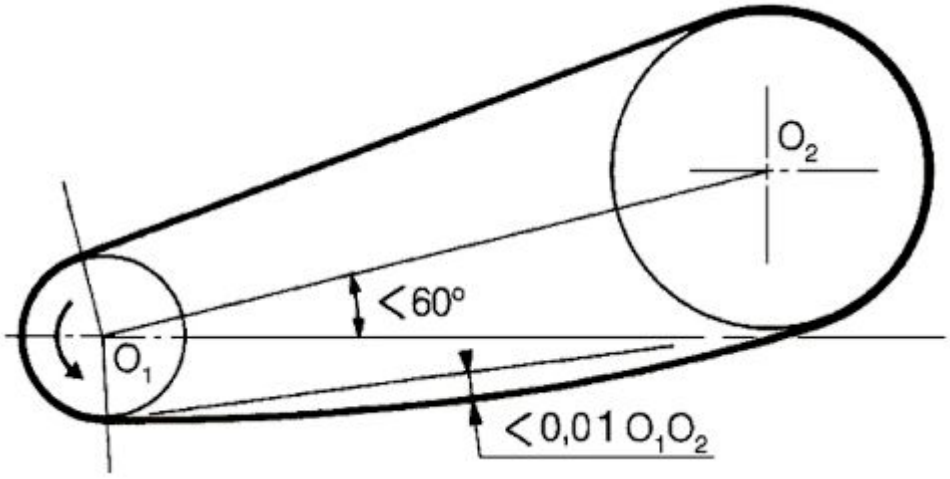
Source : SEDIS transmissions

L'alignement des arbres doit être égal ou inférieur à 40' d'angle (0,67 degré d'angle). Le défaut d'alignement des pignons et roues doit être inférieur ou égal à 0,045 * **p**(1), avec le pas exprimé en mm.

On retiendra qu'il est conseillé d'utiliser des pignons de 17 dents ou plus et des roues de 120 dents au maximum.

En conditions ordinaires, l'entraxe **C** devra vérifier 30*p < **C** < 50***p**

Exemple : pour un pas p = 6 mm on devra vérifier que 180< C< 300 mm. Le désalignement des pignons ne peut excéder 0,045*6 = 0,27 mm.
La chaîne ne doit être ni trop tendue (risque de casse, usure rapide) ni trop lâche (battements, vibrations, usure, déraillement)



Source : SEDIS transmissions

La ligne des centres O_1O_2 des pignons doit, de préférence, être horizontale ou faire un angle faible avec l'horizontale.

Si cet angle est supérieur à 60° des dispositifs de guidage d'engrènement devront être installés.

Le brin tendu doit être le brin supérieur de préférence.

*(1) On trouve aussi la limite de tolérance d'alignement égale à 0,02*C*

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Prévoir un dispositif de réglage d'entraxe afin que la flèche du brin mou (débattement total) soit de l'ordre de 1% de l'entraxe et qu'il soit possible de rattraper un allongement de 3% par usure de la chaîne. En cas d'entraxe fixe, il faut introduire un dispositif de rattrapage d'usure sur le brin mou.
La flèche sur le brin mou doit être inférieure à 3 % de l'entraxe O_1O_2 et idéalement de 1 %. *(Voir Annexes)*

Tension : par sa conception, la chaîne ne nécessite pas de tension initiale. Toutefois, dans certaines applications particulières (va-et-vient, démarrages fréquents, ...) il est nécessaire d'appliquer une tension du brin mou dont l'effort ne doit pas dépasser 10% de l'effort utile sur le brin tendu ou 1% de la résistance minimale à la traction de la chaîne. Lorsque le couple moteur et/ou le couple récepteur sont fortement perturbés, prévoir, en plus de la tension du brin mou, un dispositif de guidage sur le brin tendu afin de limiter ses vibrations.
Longueur de chaîne pour un entraxe donné : le calcul de la longueur de chaîne a été reporté en Annexe.

Le lecteur trouvera une feuille de calcul ici : http://vapeur45.fr/camion-purrey/camion-purrey-transmission-par-chaine

4. RAPPORT DE TRANSMISSION

Le rapport de transmission est le rapport des diamètres primitifs et par suite le rapport des nombres de dents.

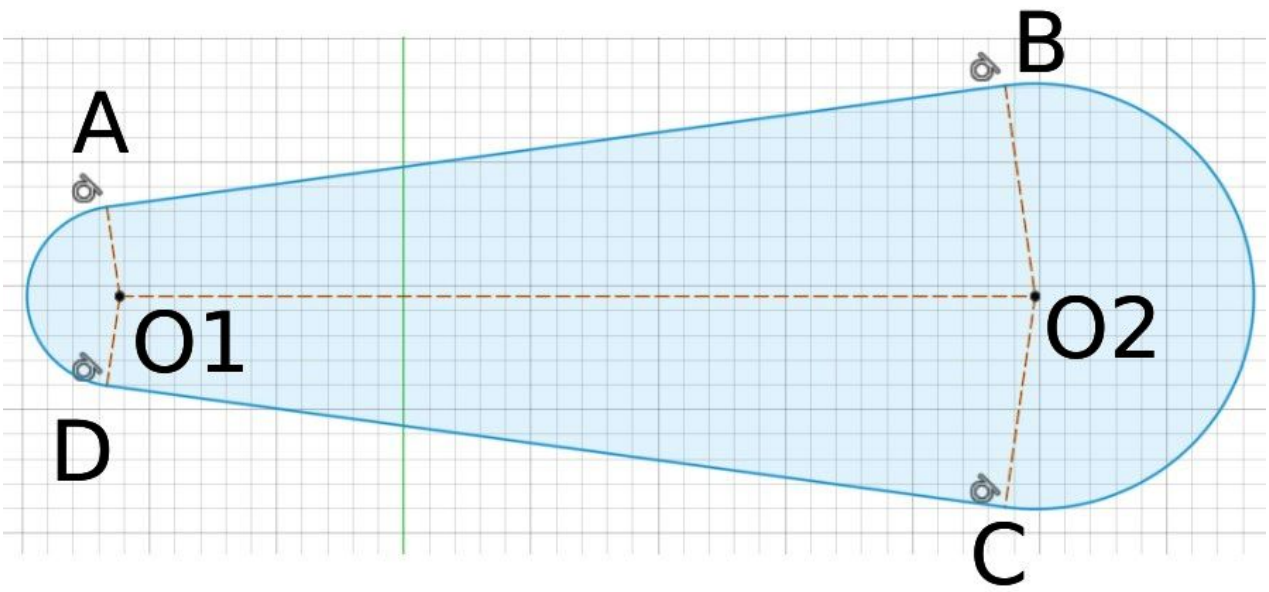
Il recommandé de ne pas dépasser un rapport de démultiplication Z2/Z1 supérieur à 5 ou 6 par étage.

	Roue							
Pignon	**114**	**76**	**57**	**38**	**25**	**23**	**21**	**19**
17	6,706	4,471	3,353	2,235	1,471	1,353	1,235	1,118
19	6,000	4,000	3,000	2,000	1,316	1,211	1,105	1,000
21	5,429	3,619	2,714	1,810	1,190	1,095	1,000	
23	4,957	3,304	2,478	1,652	1,087	1,000		
25	4,560	3,040	2,280	1,520	1,000			

On voit ci-dessus des combinaisons standard. On privilégie des rapports non entiers pour avoir une usure régulière de toutes les dents.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

5. ANNEXE : CALCUL DE LA LONGUEUR D'UNE CHAINE



Calcul de la longueur primitive ***L0*** à flèche nulle
Entraxe C = O_1O_2
$O_1D = O_1A = Dp1 / 2$; $O_2C = O2B = Dp_2 / 2$; **Dp** = diamètre primitif

Brins non engrenés : AB = CD

Angle d'ouverture angle(DO_1A) = angle (CO_2B) ;

Les angles sont exprimés en radians 180° = 3,14159 radians

La longueur primitive est la somme des deux longueurs engrenées et des deux brins non engrenés.

Rappel : le diamètre primitif est donné par le constructeur ou se calcule avec la formule déjà présentée

$$D_p = \frac{p}{\sin\frac{\pi}{z}}$$

Calcul de l'angle de contact Bêta

$$\beta = 2 \cdot \arccos\frac{D_{P2} - D_{P1}}{2 \cdot C}$$

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Ex : Z1 = 19 ; Z2 = 45 ; C = 180 mm

Bêta = 2* cos-1 ((86,01-36,45)/2/180) = 2* cos-1 (0,13767) = 2 * 82,09 = 164,17 degrés

Bêta= 164,17/180*3,14159 = 2,8654 radians

On en déduit le nombre de dents en contact avec le petit pignon.
C'est le petit pignon qui va déterminer l'effort transmissible.

$$z_c = z_1 \cdot \frac{\beta}{360}$$

Exemple Z1=19 ; Bêta=164,17 degrés ;

Zc = 19*164,17/360 = 8,66 donc 8 dents entièrement engrenées

Longueur de l'arc **DA**

arc (DA)= Bêta*O1D ; Bêta en radians

Longueur de l'arc **BC**

arc (BC)= (2*Pi-Bêta)*O2D ; Bêta en radians

Longueur des brins non engrenés

AB =CD= (O1O2²+ (Dp2-Dp1)2)⁰,5

Exemple : Z1 = 19 ; D_{p1} = 36,45 ; Z2 = 45 ; D_{p2} = 86,01 ; Entraxe O_1O_2 = 180 mm ; p = 6 mm
Bêta = 164,17° = 2,8654 radians

arc(DA)= 2,8654*36,45/2=52,22 mm

arc(BC)= (2*3,14159-2,8654)*86,01/2=146,98 mm

Longueur brins non engrenés

AB = CD=(180² +(86,01/2 – 36,45/2)²)0,5 = (32400 – 614,05)0,5 = 178,23 mm

Longueur primitive à flèche nulle

L0 = 52,22+146,98+178,23+178,23 = 555,7 mm

Calcul approché de la flèche s

Les méthodes exactes de calcul des flèches des chaînes et câbles sont complexes. On trouve peu de formules sur Internet. Nous avons retenu deux formules

Première formule
Selon le dessin ci-après **c** est la longueur du brin mou, y compris l'allongement d'usure et **b** est la longueur du brin tendu.

S = 1/4*(3*c² – 3*b²)0,5

Exemple :
c = 179,53 + allongement usure et b = 179,3mm : entraxe 181mm ;

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Longueur de chaîne = 558 mm

Chaîne neuve

S =1/4*(3*179,53²-3*179,3²)0,5=1/4*(96693,1-96445,5)0,5 = 0,25*15,751 = 3,94 mm

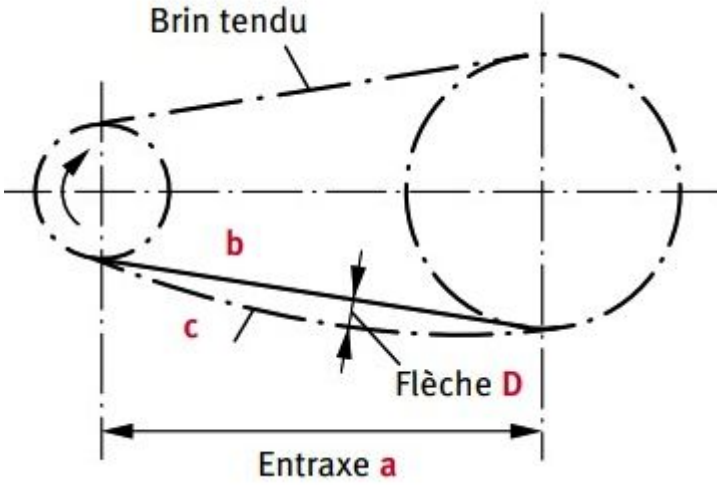
s% = 3,94/180*100= 2,0 % acceptable

Chaîne à 1,5 % d'usure

soit c = 179,53 + 0,015*557,4= 187,9 mm

s=1/4*(3*187,9²-3*179,3²)0,5= 24,33mm

s% = 24,33/181*100 = 13,5 % ; il faut un système de rattrapage de jeu soit par réglage de l'entraxe, soit par tendeur.



Deuxième formule

$$s \approx \sqrt{0.375\ C\ \Delta}$$

C est l'entraxe et Delta est la variation de longueur de la chaîne exprimée par la différence entre la longueur de la chaîne réelle **L** et la longueur primitive **L0** de la chaîne « théorique ».

Exemple : même chaîne neuve que précédemment. L = 558mm ; L0 = 557,41 mm ; C = 181 mm

S = $(0,375*181*(558-557,41))^{0,5}$ = 6,33mm

S % = 6,33/181*100 = 3,5 %

Pour l'exemple choisi, les deux formules donnent des ordres de grandeurs comparables

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

6. ANNEXE 1 : METHODE CONVENTIONNELLE DE CALCUL D'UNE CHAINE

Les éléments en général fixés par conception sont : le pas de la chaîne p, le rapport de transmission Z2/Z1 et l'entraxe C des arbres menant et mené. A partir de cela on peut alors calculer la longueur L de chaîne. p, C, L doivent être exprimés dans les mêmes unités. Z1 est le nombre de dents du pignon moteur, Z2 est le nombre de dents de la roue dentée entraînée par le pignon.

Un exemple chiffré complet sera donné.

Notations

C_0	Distance au centre désirée [m]
C	Distance au centre théorique [m]
P	Pas de chaîne [m]
z_1	Nombre de dents du pignon menant [sans unité]
z_2	Nombre de dents du pignon mené [sans unité]
D_{P1}	Diamètre primitif du pignon menant [m]
D_{P2}	Diamètre primitif du pignon mené [m]
X_0	Nombre de maillons de chaîne requis [sans unité]
B	Angle de contact [deg]

Les unités de longueur doivent être homogènes.

1/ Calcul du nombre de maillons nécessaires pour l'entraxe souhaité

$$X_0 = 2 \cdot \frac{C_0}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{p \cdot \left(\frac{|z_2 - z_1|}{2 \cdot \pi} \right)^2}{C_0}$$

On arrondit au maillon supérieur
X = Arrondi.sup (X0)

Ex : C_0 = 180mm ; p = 6mm ; Z1 = 19 ; Z2 = 45 ; Pi = 3,14159
30*6<C<50*6

X_0 = 2*180/6 + (19+45)/2 + 6/180 * ((45-19)/(2*3,14159))²
X_0 = 60 + 32 + 0,0333 * (4,1380)² = 92 + 0,0333 *17,123 = 92,6 maillons
Longueur **L0** de la chaîne pour **X0** maillons L0 = X0 * p
L0 = 92,6 * 6 = 555,6 mm

X = Arrondi.sup (92,6) = 93 maillons
Longueur réelle L de la chaîne pour 93 maillons L = X * p
L = 93*6 = 558 mm
Si on souhaite un nombre pair de maillons, soit 94, la longueur L passe à 564 mm.

2/ Vitesse linéaire de la chaîne

*V = (Nr/60) * 2*3,141593*(Dp/1000/2) en m/s*

avec Nr = trs/mn et Dp = diamètre primitif du pignon en mm

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

ex : p = 6mm, Nr = 900 trs/mn, Z = 19 ; Dp = 36,45 mm
V = (900/60)*2*3,141593*(36,45/1000/2) = 1,72 m/s

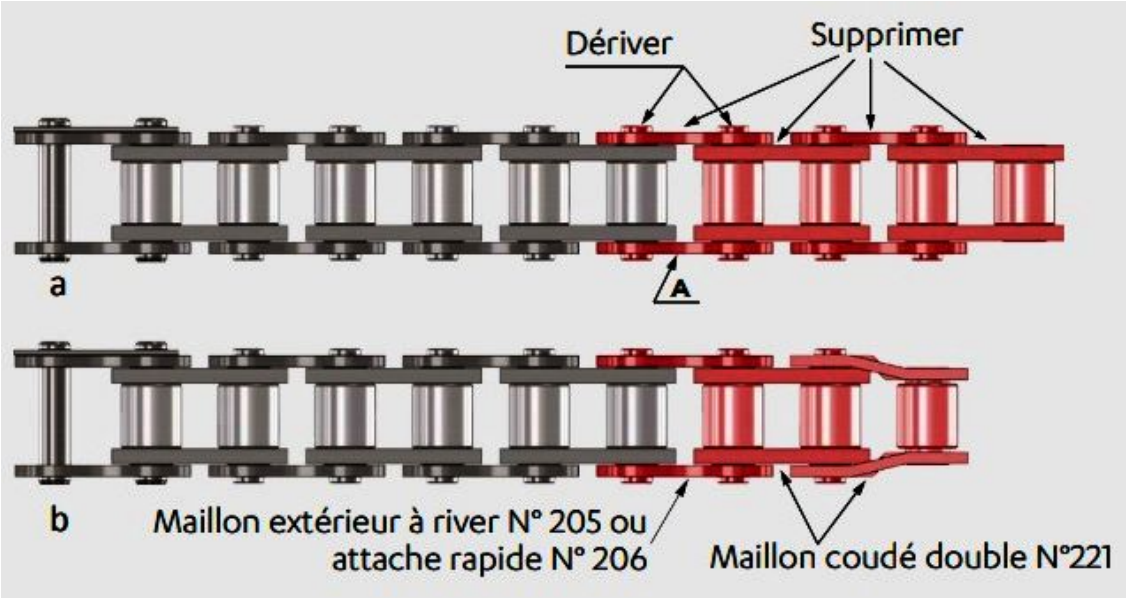
On recommande pour cette vitesse une lubrification par huileur goutte à goutte.

7. ANNEXE 2 : REGLAGE DU NOMBRE DE MAILLONS

Source : SEDIS transmissions

7.1. Chaîne à nombre pair de maillons

Raccourcissement de 1 maillon



Chaînes jusqu'au pas de 25,4 mm inclus : pour raccourcir la chaîne de 1 maillon, enlever 4 maillons à une des extrémités de la chaîne, soit 2 maillons extérieurs et 2 maillons intérieurs, en faisant sauter le maillon extérieur A (Fig.a), puis monter 1 maillon coudé double N°221 avec un maillon de jonction à ressort d'attache rapide N° 206 ou 1 maillon extérieur à river N°205 (Fig.b)

Raccourcissement de 2 maillons

Pour toutes les chaînes jusqu'au pas de 25,4 mm inclus : enlever 2 maillons à une extrémité, c'est à dire 1 maillon intérieur et 1 maillon extérieur en faisant sauter le maillon extérieur A.

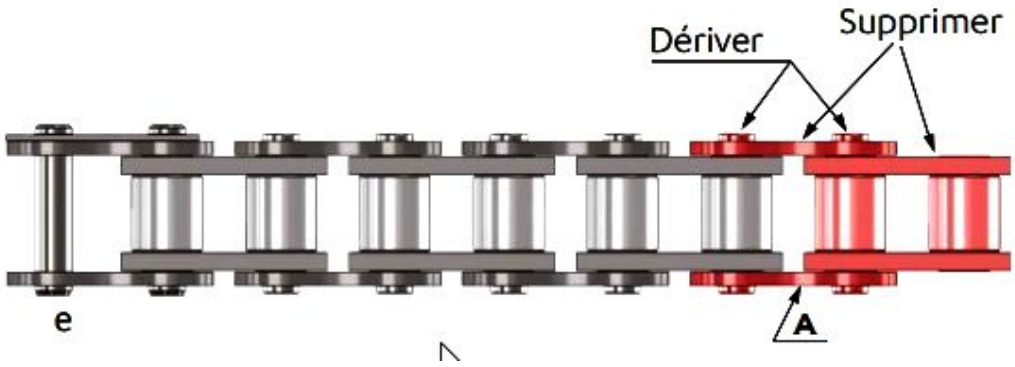
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Chaîne à nombre impair de maillons
Raccourcissement de 1 maillon

Chaînes jusqu'au pas de 25,4 mm inclus ; la chaîne se terminant par 1 maillon coudé, enlever le maillon coudé.

Raccourcissement de 2 maillons

Pour toutes les chaînes jusqu'au pas de 25,4 mm inclus: Enlever 1 maillon intérieur en faisant sauter le maillon extérieur A à l'extrémité opposée au maillon coudé.
Remarque : Les chaînes de levage à mailles jointives et les chaînes de manutention ne comportent pas de maillons coudés et, en conséquence, ne sont concernées que par le raccourcissement de 2 maillons.

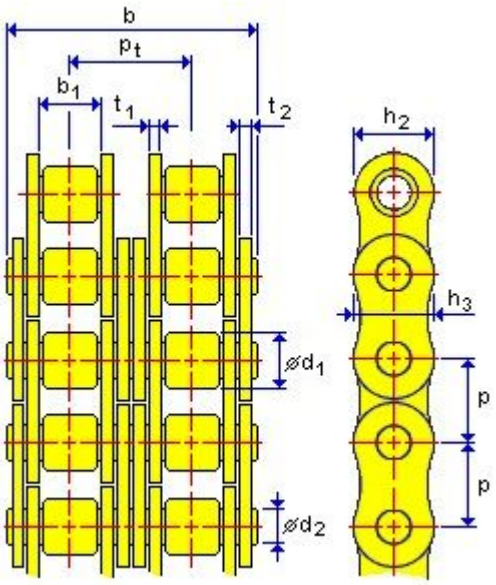


8. ANNEXE 3 : PROPRIETES GEOMETRIQUES D'UNE CHAINE A ROULEAUX

Source : https://knowledge.autodesk.com/fr/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/FRA/Inventor-Help/files/GUID-DCB5BD38-6092-4ADA-86E0-8D1B3DBC74F6-htm.html

Les propriétés principales sont basées sur les recommandations énoncées dans les normes nationales. La taille spécifique de la chaîne définit les cotes correspondantes des pignons à dents qui doivent s'engager correctement.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***



P	pas
p t	pas transversal
b	largeur maximale des goupilles supérieures
b_1	largeur minimale entre les plaques intérieures
d_1	diamètre maximal de rouleau
d_2	diamètre maximal de corps de goupille
t_1	épaisseur des plaques intérieures
t_2	épaisseur des plaques extérieures
h_2	profondeur maximale de plaque intérieure
h_3	profondeur max. de plaque extérieure ou intermédiaire

8.1. Propriétés des pignons à dents

Les propriétés de cotation des pignons sont basées sur une taille de chaîne spécifique et tiennent compte des recommandations énoncées dans les normes nationales. Les propriétés ne sont pas toutes traitées dans cette rubrique en raison de leur complexité. Pour en savoir plus sur les cotes exactes des pignons, reportez-vous aux normes de chaînes correspondantes.

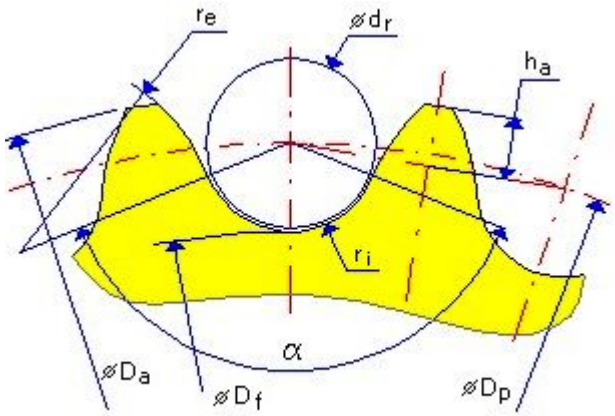
Deux formes de dent sont considérées :
- Forme de dent théorique
- Forme de dent ISO simplifiée

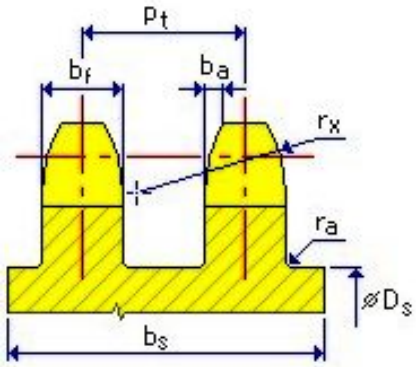
La forme de dent théorique est conçue de telle sorte que les rouleaux de la chaîne s'engrènent sur l'extrémité des dents du pignon au fur et à mesure de l'usure et de l'élongation de la chaîne. Comme il existe de nombreux procédés de fabrication des dents de pignon, la forme de dent réelle risque de ne pas correspondre exactement à la forme théorique.
La forme de dent ISO simplifiée est déterminée par les formes des entredents minimale et maximale. Le profil de denture de forme de dent réelle (obtenue à l'aide d'un outil de coupe ou d'une méthode équivalente) doit être compris entre un rayon maximum et un rayon minimum et doit épouser la courbe d'assise de rouleau sous-tendant les angles respectifs. Par défaut, le Générateur de chaînes à rouleaux applique les recommandations d'interdents minimales.

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TRANSMISSION PAR CHAÎNE

FPe26





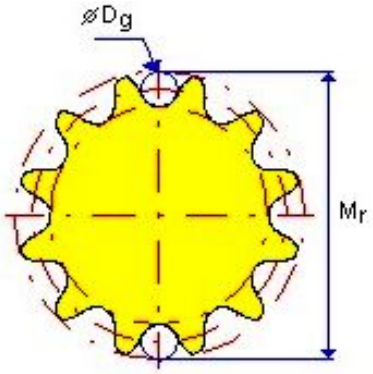
D_f = D p - 2 r i ; b_s = p t (k - 1) + b f ; b a = b ax p

$$D_p = \frac{p}{\sin\frac{\pi}{z}} \qquad D_g = D_p \cdot \cos\frac{\pi}{z} - h_{max} - 2 \cdot r_a$$

D_p	diamètre primitif
D_p	diamètre primitif
D_a	diamètre de tête du pignon
D_f	diamètre de fond du pignon
d_r	diamètre maximal de la douille ou du rouleau
z	nombre de dents de pignon
p	pas de la corde égal au pas de chaîne
p_t	pas transversal des brins
k	nombre de brins
S_C	jeu de l'assise
r_i	rayon de l'assise de rouleau
r_e	rayon du profil de denture
α	angle de l'assise de rouleau
h_a	hauteur de la dent au-dessus du polygone de pas
b_f	largeur de la dent
b_a	relief du côté de la dent
b ax f	relief du côté de la dent
r_x	rayon du côté de la dent
r_a	rayon du congé de l'enveloppe
b_s	largeur minimale de l'enveloppe
D_s	diamètre maximal de l'enveloppe
h max	profondeur max. de plaque h max = max (h 2 ; h 3)

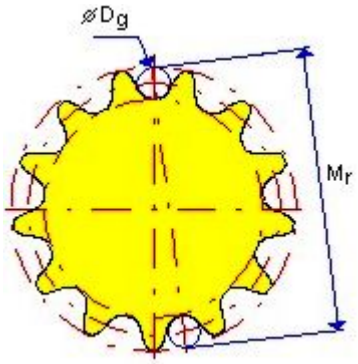
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

8.2. Mesure des pignons à dents



Nombre pair de dents

M r = D p + 2 D g - d r



Nombre impair de dents

$$M_r = D_p \cdot \cos\frac{\pi}{z} + 2 \cdot D_g - d_r$$

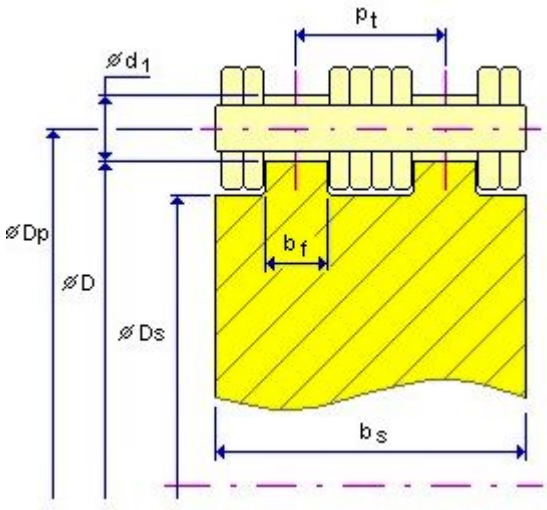
Pour mesure des goupilles supérieures D g = d r . Pour mesures directes D g =0.

D_p diamètre primitif
D_g mesure du diamètre de goupille
M_r mesure des goupilles supérieures ou mesure directe
Z nombre de dents de pignon
d_r diamètre maximal de chaîne à rouleaux

8.3. Tendeur

$$D_g = D_p \cdot \cos\frac{\pi}{z} - h_{max} - 2 \cdot r_2$$

D p = D + d 1
B_s = p t (k - 1) + b f



D_p diamètre primitif
D diamètre nominal
P pas de chaîne
p_t pas transversal des brins
k nombre de brins
b_f largeur de brin
d_1 diamètre maximal de la douille ou du rouleau
D_s diamètre maximal de l'enveloppe
b_s largeur minimale de l'enveloppe
h max profondeur max de plaque h max = max (h2; h3)

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***