

1. Calcul

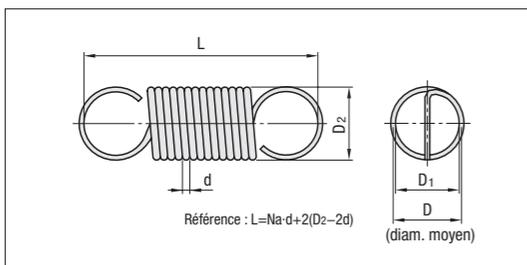
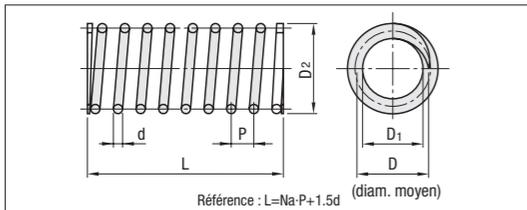
1.1 Symboles utilisés dans les formules de conception des ressorts

Les symboles utilisés dans les formules de conception des ressorts sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Signification des symboles

Symbole	Signification des symboles	Unité
d	Diamètre du matériau	mm
D ₁	Diamètre intérieur d'une spire	mm
D ₂	Diamètre extérieur d'une spire	mm
D	Diamètre moyen d'une spire = $\frac{D_1+D_2}{2}$	mm
N _t	Nombre total de spires	-
N _a	Nombre de spires actives	-
L	Longueur libre (longueur)	mm
H _s	Longueur comprimée	mm
p	Pas	mm
P _i	Tension initiale	N[kgf]
c	Indice ressort $c = \frac{D}{d}$	-
G	Module de cisaillement de l'élasticité	N/mm ² [kgf/mm ²]
P	Charge exercée sur le ressort	N[kgf]
δ	Flexion du ressort	mm
k	Constante du ressort	N/mm[kgf/mm]
τ ₀	Contrainte de torsion	N/mm ² [kgf/mm ²]
τ	Contrainte de torsion corrigée	N/mm ² [kgf/mm ²]
i	Contrainte initiale	N/mm ² [kgf/mm ²]
χ	Facteur de correction de la contrainte	-
f	Fréquence	Hz
U	Energie retenue par le ressort	N·mm[kgf·mm]
ω	Poids du matériau par volume d'unité	kg/mm ³
W	Masse des parties mobiles	(kg)
g	Accélération gravitationnelle (1)	mm/s ²

Remarque 1 : pour les calculs relatifs aux ressorts, une accélération gravitationnelle de 9806.65mm/s², est utilisée.



1.2 Formules de base utilisées dans la conception des ressorts

1.2.1 Ressorts de compression et ressorts de tension sans tension initiale

$$\delta = \frac{8NaD^3P}{Gd^4} \dots (1) \quad \tau = \chi \tau_0 \dots (5)$$

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{Gd^4}{8NaD^3} \dots (2) \quad d = \sqrt[3]{\frac{8DP}{\pi\tau_0}} = \sqrt[3]{\frac{8\chi DP}{\pi\tau}} \dots (6)$$

$$\tau_0 = \frac{8DP}{\pi d^3} \dots (3) \quad Na = \frac{Gd^4\delta}{8D^3P} = \frac{Gd^4}{8D^3k} \dots (7)$$

$$\tau_0 = \frac{Gd\delta}{\pi NaD^2} \dots (4) \quad U = \frac{P\delta}{2} = \frac{k\delta^2}{2} \dots (8)$$

1.2.2 Ressorts de tension avec tension initiale (où : P > P_i)

$$\delta = \frac{8NaD^3(P-P_i)}{Gd^4} \dots (1') \quad \tau = \chi \tau_0 \dots (5')$$

$$k = \frac{P-P_i}{\delta} = \frac{Gd^4}{8NaD^3} \dots (2')$$

$$\tau_0 = \frac{8DP}{\pi d^3} \dots (3')$$

$$\tau_0 = \frac{Gd\delta}{\pi NaD^2} + \tau_i \dots (4')$$

1.3 Points à noter lors de la conception des ressorts

1.3.1 Module de cisaillement de l'élasticité

Le module de cisaillement de l'élasticité (G) indiqué dans le Tableau 2 est recommandé pour la conception des ressorts.

Tableau 2 - Module de cisaillement de l'élasticité (G)

Matériau	Valeur G Nmm ² (kgf/mm ²)	Symbole
Acier à ressort	78×10 ³ {8×10 ³ }	SUP6,7,9,9A,1.8159/50CV4/51CrV4,1.7138/52MnCrB3,1.7102/54SiCr6,ISO/60CrMo33
Câble en acier dur	78×10 ³ {8×10 ³ }	SW-B,SW-C
Corde à piano	78×10 ³ {8×10 ³ }	SWP
Câble en acier trempé à l'huile	78×10 ³ {8×10 ³ }	SWO,SWO-V,SWOC-V,SWOSC-V,SWOSM,SWOSC-B
Câble en acier inoxydable	1.6900/X12CrNi18-9 1.4301/X5CrNi18-10	1.6900/X12CrNi18-9
		1.4301/X5CrNi18-10
	1.4301/X5CrNi18-10-N1 1.4401/X5CrNiMo17-12-2	1.4301/X5CrNi18-10-N1
		1.4401/X5CrNiMo17-12-2
1.4568/X7CrNiAl17-7-1	74×10 ³ {7.5×10 ³ }	1.4568/X7CrNiAl17-7-1

1.3.2 Nombre de spires actives

Le nombre de spires actives peut être déterminé comme suit.

(1) Ressorts de compression

$$N_a = N_t - (X_1 + X_2)$$

Où X₁ et X₂ : sont le nombre de tours à chaque extrémité de la spire.

(a) Lorsque seule l'extrémité de la spire est en contact avec la spire libre suivante [Correspondant à (a) ~ (c) dans Fig.2]

$$X_1 = X_2 = 1$$

Par conséquent, N_a = N_t - 2

(b) Lorsque l'extrémité de la spire n'est pas en contact avec la spire suivante et que l'extrémité du ressort mesure $\frac{3}{4}$ d'un tour.

[Correspondant à (a) ~ (e) dans Fig.2]

$$X_1 = X_2 = 0.75$$

Par conséquent, N_a = N_t - 1.5

(2) Ressorts de tension

Le nombre de spires actives peut être déterminé comme suit.

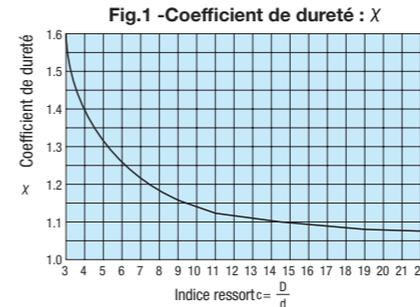
Toutefois, les crochets ne sont pas pris en compte.

$$N_a = N_t$$

1.3.3 Facteur de correction de la contrainte

Le facteur de correction de la contrainte par rapport à l'indice ressort (C) peut être déterminé en utilisant la formule suivante ou en se basant sur la Fig.1.

$$\chi = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c} \dots (9)$$



1.3.4 Longueur maximale du ressort détendu

En principe, la longueur maximale du ressort détendu peut être obtenue en utilisant la formule simplifiée suivante.

En règle générale, l'acheteur d'un ressort de compression ne spécifie pas la longueur maximale du ressort détendu.

$$H_s = (N_t - 1)d + (t_1 + t_2) \dots (10)$$

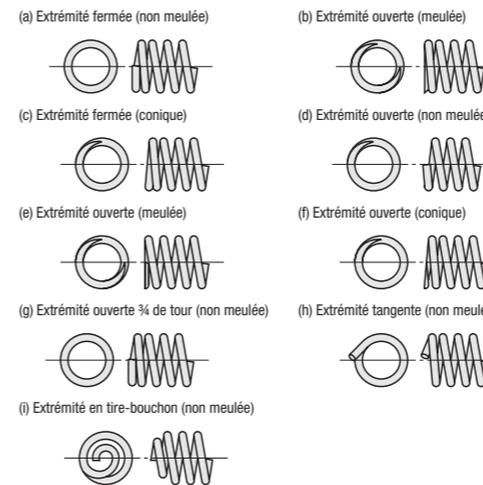
où, (t₁+t₂) : est la somme des épaisseurs des extrémités des spires.

A l'instar de ces ressorts de compression, dont les deux extrémités ont l'une des formes présentées dans la Figure 2 ((b), (c), (e) ou (f)) et dont la longueur maximale du ressort détendu doit être spécifiée, la formule suivante peut être utilisée pour déterminer la longueur maximale du ressort détendu. Toutefois, la longueur maximale réelle du ressort détendu peut être supérieure à la valeur calculée en fonction de la forme du ressort en question.

$$H_s = N_t \times d_{max} \dots (11)$$

où d_{max} : d est le diamètre du matériau ayant la tolérance maximale.

Fig.2 - Forme des extrémités des spires



1.3.5 Tension initiale des ressorts de tension

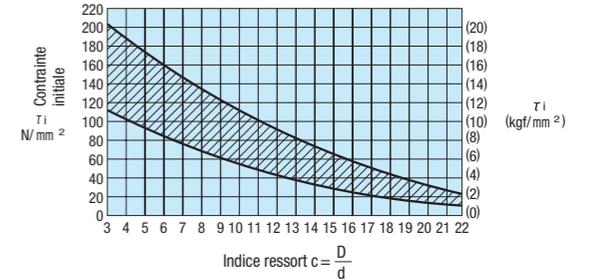
Les ressorts de tension à spires fixes et formés à froid sont soumis à une tension initiale (P_i).

La tension initiale peut être déterminée à l'aide de la formule suivante.

$$P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i \dots (12)$$

Dans le cas d'une corde à piano à spires fixes, de câbles en acier dur ou d'autres câbles en acier n'étant pas recuits à basse température, la contrainte initiale s'exerce dans la partie hachurée indiquée dans la Fig.3. Toutefois, si des matériaux autres que des câbles en acier sont utilisés ou bien que le câble en question est recuit à basse température, la contrainte initiale de la partie hachurée (Fig.3) devra être corrigée comme suit.

Fig.3 - Contrainte initiale : τ_i (ressort constitué de spires en acier, non recuit à basse température)



- Lors de l'utilisation de câbles en acier inoxydable, diminuer de 15% la valeur de la contrainte initiale du câble en acier.
 - Si le ressort est recuit à basse température une fois formé, diminuer la valeur de 20-35% pour les ressorts fabriqués avec une corde à piano, un câble en acier dur ou d'autres câbles en acier, et de 15-25% pour les ressorts en acier inoxydable.
- Référence Au lieu de la Fig.3, la formule empirique suivante peut être utilisée pour déterminer la contrainte initiale des ressorts avant recuit à basse température.

$$\tau_i = \frac{G}{100c}$$

Les exemples suivants illustrent d'autres utilisations de cette formule en vue d'obtenir la tension initiale.

- Corde à piano/Câble en acier dur [G=78×10³N/mm²{8×10³kgf/mm²}]

$$\text{Contrainte initiale } \tau_i = \frac{G}{100c} \times 0.75 \text{ (0.75 par 25, réduction par recuit à basse température).}$$

$$\text{Tension initiale } P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i = \frac{Gd^4}{255D^2} \times 0.75 = \frac{229d^4}{D^2} \left\{ \frac{24d^4}{D^2} \right\}$$

- Lors de l'utilisation d'un câble en acier inoxydable

$$\text{Contrainte initiale } \tau_i = \frac{G}{100c} \times 0.8 \text{ (0.8 par 20, réduction par recuit à basse température).}$$

$$\text{Tension initiale } P_i = \frac{\pi d^3}{8D} \tau_i = \frac{Gd^4}{255D^2} \times 0.8 = \frac{216d^4}{D^2} \left\{ \frac{22d^4}{D^2} \right\}$$

1.3.6 Détente intempestive

Pour éviter que le ressort ne se détende de manière intempestive, il doit être sélectionné de telle sorte que sa fréquence naturelle ne résonne pas avec une autre fréquence naturelle pouvant l'affecter. La tension initiale peut être déterminée à l'aide de la formule suivante.

$$f = a \sqrt{\frac{kg}{W}} = a \frac{70d}{\pi NaD^2} \sqrt{\frac{G}{\omega}} \dots (13)$$

Où, a = $\frac{i}{2}$: lorsque les deux extrémités du ressort sont libres ou fixes

a = $\frac{2i-1}{4}$: lorsque une extrémité du ressort est libre tandis que l'autre est fixe i=1,2,3,...

$$G = 78 \times 10^3 \text{ N/mm}^2 \{8 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2\},$$

$$\omega = 76.93 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3 \{7.85 \times 10^{-6} \text{ kgf/mm}^3\}$$

Si les deux extrémités du ressort sont libres ou fixes, la fréquence primaire naturelle d'un ressort peut être déterminée comme suit.

$$f_1 = 3.56 \times 10^5 \frac{d}{NaD^2} \dots (13')$$

1.3.7 Autres points à noter

Lors des calculs de conception de ressorts, les points suivants doivent être pris en compte.

- Indice ressort** Une contrainte locale excessive peut donner lieu à un indice ressort insuffisant. La capacité d'usage est compromise si l'indice ressort est trop grand ou trop petit. L'indice ressort doit être sélectionné dans la plage 4-15 lorsque le ressort est formé à chaud et dans la plage 4-22 lorsqu'il est formé à froid.
- Rapport d'élanement** Afin de s'assurer que le nombre de spires actives est correct, le rapport d'élanement d'un ressort de compression (rapport entre hauteur libre et diamètre moyen) doit être de 0.8 ou supérieur. De plus, il est généralement recommandé de sélectionner un rapport d'élanement dans la plage 0.8 ~ 4 pour prévenir un éventuel flambage.
- Nombre de spires actives** Le nombre de spires actives doit être d'au moins 3 afin de stabiliser les caractéristiques du ressort.
- Pas** En règle générale, lorsque le pas dépasse 0.5D, la flexion du ressort (charge) augmente au point de modifier le diamètre des spires. Il est alors nécessaire de corriger les valeurs de flexion et de contrainte de torsion obtenues à partir des formules de base. Par conséquent, le pas ne doit pas dépasser 0.5D. En règle générale, le pas peut être calculé à l'aide de la formule suivante.

$$p = \frac{L - H_s}{N_a} + d \dots (14)$$