

imprimé le 25 septembre 1999



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



ASSOCIATION NATIONALE SCIENCES TECHNIQUES JEUNESSE

S e c t e u r E S P A C E

16 Place Jacques Brel - 91130 RIS ORANGIS

Téléphone : 01-69-02-76-10 / Télécopie : 01-69-43-21-43

E-Mail : espace@anstj.mime.univ-paris8.fr

Web: <http://anstj.mime.univ-paris8.fr>

Edition Octobre 1999

Les ressorts

Note technique ANSTJ

1 - PRINCIPE

Un ressort est une pièce qui subit une **déformation** élastique, en principe de faible amplitude et obtenue par une contrainte de traction et (ou) de compression: On utilise seulement la flexion ou la torsion;

a) - Classification selon les contraintes :

- Flexion :

- Ressorts à lame simple
- Ressorts à lames multiples

- Torsion

- Barres de torsion
- Ressorts à boudin de compression
- Ressorts à boudin de traction

- Composés

- Ressorts **côniques** ou volutes
- Plaques minces élastiques

b) - Matières utilisées :

- Acier XC55, XC65, **XC70**, trempé et revenu
- Acier au nickel non traité
- Laiton

c) - Remarque

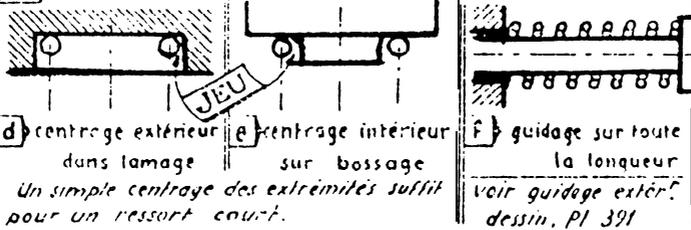
• Un ressort à boudin de traction ou de compression subit un effort qui **allonge** ou raccourcit le ressort, mais donne dans le fil une contrainte de torsion.

24-61 Ressort à boudin de compression

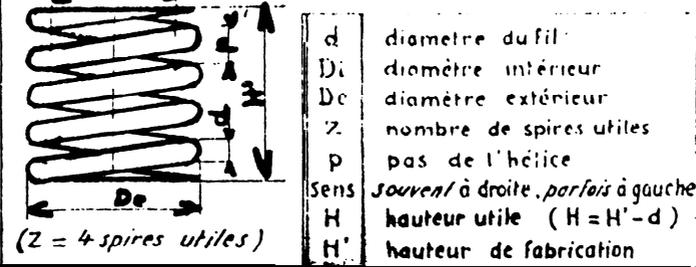
1° Forme des extrémités



2° Appuis du ressort (court) ou guidage du ressort (long)



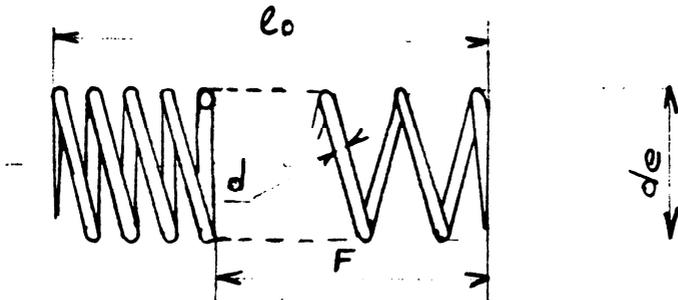
3° Dessin et cotation : il est bon de donner sous forme de tableau toutes les cotes nécessaires :



Ressort	P	F	C
lame Simple 	$\frac{1}{6} \cdot \frac{bh^2}{2} K$	$4 \frac{l^3}{bh^3} \cdot \frac{P}{E} =$ $\frac{3}{2} \cdot \frac{l^2}{h} \cdot \frac{K}{E}$	$\frac{1}{18}$
Spirale h: épaisseur de la lame 	$\frac{bh^2 k}{6r}$	$aw = 12 \frac{Pl r^2}{Ebh^3} =$ $2 \frac{r k}{hE}$	$\frac{1}{6}$
ressort hélicoïdal de traction ou de compression 	$\frac{\pi d^3 t}{16 r}$	$\frac{64 n r^3 P}{d^4 G} =$ $\frac{4\pi n r^2 t}{d G}$	$\frac{3}{8}$

Notations

a :	Angle de torsion .oooooooooooooooooooooooooooooooooooo	radian
c :	Coefficient de forme	
d :	Diamètre du fil métallique	mètre
de :	" extérieur du fil métallique	"
E :	Module d'élasticité longitudinale (module de Young)*...	N/m ²
F :	Flèche à <u>partir de la position au repos</u> .0...	mètre
G :	Module d'élasticité <u>transverse</u> (G=0,4 E)	N/m ²
k :	Contrainte de flexion	N/m ²
l :	Longueur développée.....	mètre
l ₀ :	Longueur à vide	mètre
n :	Nombre de spires	
P :	Charge du ressort	Newton
p :	Pas à vide	mètre
r :	Rayon moyen du ressort .oooooooooooooooooooooooooooo	"
t :	Contrainte de torsion .oooooooooooooooooooooooooooo	NI m ²
T :	Energie emmagasinee $T = \frac{1}{2} P.F = \frac{1}{C} \cdot \frac{k^2}{E} \cdot V$	
v :	Volume du ressort.....	m ³



* Définition du Module de Young:

$$E = \frac{\text{effort par unité de section initiale}}{\text{augmentation de la longueur par rapport à la longueur initiale}}$$

Il indique la déformation maximum acceptable, dans le domaine élastique, d'un matériau sous un effet unitaire donné.

Tous les aciers : $E = 200 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 200 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$

Alliages de cuivre : $E = 95 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 95 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$

" d'aluminium : $E = 75 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 75 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$

Le calcul des ressorts est délicat des conditions souvent contradictoires étant à concilier.

Les données précises sont en petit nombre et obtenues par l'étude du fonctionnement du mécanisme envisagé (charge du ressort P ; flèche F). Il existe, par ailleurs, des valeurs limites imposées à certains paramètres pour des raisons physiques (fatigue du métal - contrainte maximale) ou mécanique (encombrement du ressort).

Les paramètres non-définis dans les données, sont à CHOISIR, ce qui entraîne:

- les mêmes données peuvent conduire à des résultats différents.
- la solution la meilleure ne peut être obtenue que par approximation, en faisant varier les paramètres choisis, d'où des calculs assez longs lors d'une étude soignée.

Nota : Pour l'ensemble des calculs, l'unité de longueur utilisée sera le mm.

Exemple 1

On désire réaliser un ressort hélicoïdal de compression donnant une force $P = 100 \text{ N}$ pour une flèche $F = 20 \text{ mm}$.

Il faut déterminer les caractéristiques mécaniques de ce ressort :

- rayon moyen : r
- diamètre du fil : d
- contrainte de torsion produite : t
- nombre de spires : n
- pas : p
- longueur à vide : l_0

Les aciers à ressorts courants acceptent une contrainte de torsion maximale de 600 N/mm^2 et ont un module de Young $E = 2.105 \text{ N/mm}^2$.

1) Choix des paramètres inconnus :

Il paraît à première vue raisonnable d'utiliser un fil du diamètre $d = 1 \text{ mm}$ enroulé sur un rayon moyen $r = 10 \text{ mm}$

2) Calcul de la contrainte produite :

Le tableau (page 2) donne la relation $P = \frac{\pi}{16} \frac{d^3 t}{r}$.

$$\text{d'où } t = \frac{16 P r}{\pi d^3} = \frac{16 (10)^2 \cdot 10}{\pi (1)^3}$$

$$t = 5,1 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Aucun métal ne peut supporter une telle contrainte en torsion; il faut donc prendre d'autres valeurs pour r et d.

3) On choisit R et d de façon à diminuer t : r = 8 mm, d = 2 mm

Le calcul précédent donne : $t = 510 \text{ N/mm}^2$

Cette valeur élevée est supportable par un acier à ressort de bonne qualité.

4) Nombre de spirales :

La connaissance de la fleche F permet de calculer le nombre de spires n nécessaires.

Le tableau (page 2) donne la relation $F = \frac{64 n r^3 P}{d^4 G}$

$$\text{d'où } n = \frac{F d^4 G}{64 r^3 P} = \frac{F d^4 \cdot 0,4 \cdot E}{64 r^3 \cdot P} \rightarrow n = 7,8$$

On prend n = 8 de façon à avoir un nombre de spires entier.

5) Cotes de fabrication du ressort :

On a déterminé r et d ; il faut connaître maintenant la longueur à vide l_0 , le pas p, et le diamètre extérieur de :

$$l_0 = n \cdot d + F + \text{sécurité}$$

$$l_0 = 8(2) + 20 + 4 \rightarrow l_0 = 40 \text{ mm}$$

* La marge de sécurité (en général 1 à 5 mm) est nécessaire dans un ressort de compression pour que la charge P donnée n'amène pas toutes les spires en contact, ce qui risquerait de diminuer la fleche réelle.

$$\text{Pas à vide : } p = \frac{l_0}{n} \quad p = 5 \text{ mm.}$$

$$\text{Diamètre extérieur : } d_e = 2r + d \quad d_e = 18 \text{ mm}$$

L'utilisation pratique d'un tel ressort demande la vérification de la compatibilité de l'encombrement du ressort avec la place disponible dans le mécanisme.

Exemple 2

On veut réaliser un ressort donnant une poussée P = 100 N pour une longueur totale du ressort comprimé l = 30 mm. Pour cela, on dispose de 3 types de fils, d'un diamètre : $d_1 = 1,5 \text{ mm}$; $d_2 = 2 \text{ mm}$; $d_3 = 3 \text{ mm}$; l'acier constituant ces fils admet une contrainte maximale de torsion $t_{\text{max.}} = \underline{400 \text{ N/mm}}$ (fils du type corde à piano)

1) Le diamètre extérieur impose les rayons moyens maximaux :

$$r_1 = \frac{1}{2} (d_{e \max} - d_1)$$

d o c $r_1 = 7,2 \text{ mm}$
 $r_2 = 7 \text{ mm}$
 $r_3 = 6,5 \text{ mm}$

2) Les valeurs données de d, P et t max fixent des valeurs maximales pour les rayons moyens :

$$r_1 = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_1^3 \cdot t_{\max}}{P} \quad r_1 = 2,65 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_2^3 \cdot t_{\max}}{P} \quad r_2 = 6,3 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_3^3 \cdot t_{\max}}{P} \quad r_3 = 21 \text{ mm. (exclu par la condition du diamètre extérieur maximum)}$$

On choisit d'utiliser le 2ème fil ($d_2 = 2 \text{ mm}$) enroulé sur un rayon moyen $r = 6 \text{ mm}$. Le 1er fil ($d_1 = 1,5 \text{ mm}$) donne un rayon beaucoup trop faible (3 mm max.)

3) Contrainte produite :

$$t = \frac{46}{\pi} \cdot \frac{P \cdot r}{d_2^3} \quad t = 380 \text{ N/mm}^2 < t_{\max}$$

4) Nombre de spires n

On ne peut pas calculer n par la relation (tableau page 2) liant n à F, car F est encore inconnue.

Par contre, on a imposé $l = 30 \text{ mm}$ quand $P = 100 \text{ N}$
 $l = n \cdot d + \text{sécurité}$

On prend la longueur de sécurité égale à 4 mm

$$\text{d'où } n = \frac{l - 4}{d} \quad n = 43 \text{ spires}$$

5) Flèche produite :

On peut maintenant utiliser la relation liant F à n :

$$F = \frac{4\pi \cdot n \cdot r^2 \cdot t}{d \cdot G} = \frac{4\pi n r^2 t}{d \cdot 0,4 \cdot E} \quad F = 14 \text{ mm}$$

6) Cotes de fabrication :

On connaît $d_2 = 2 \text{ mm}$ et $r = 6 \text{ mm}$.

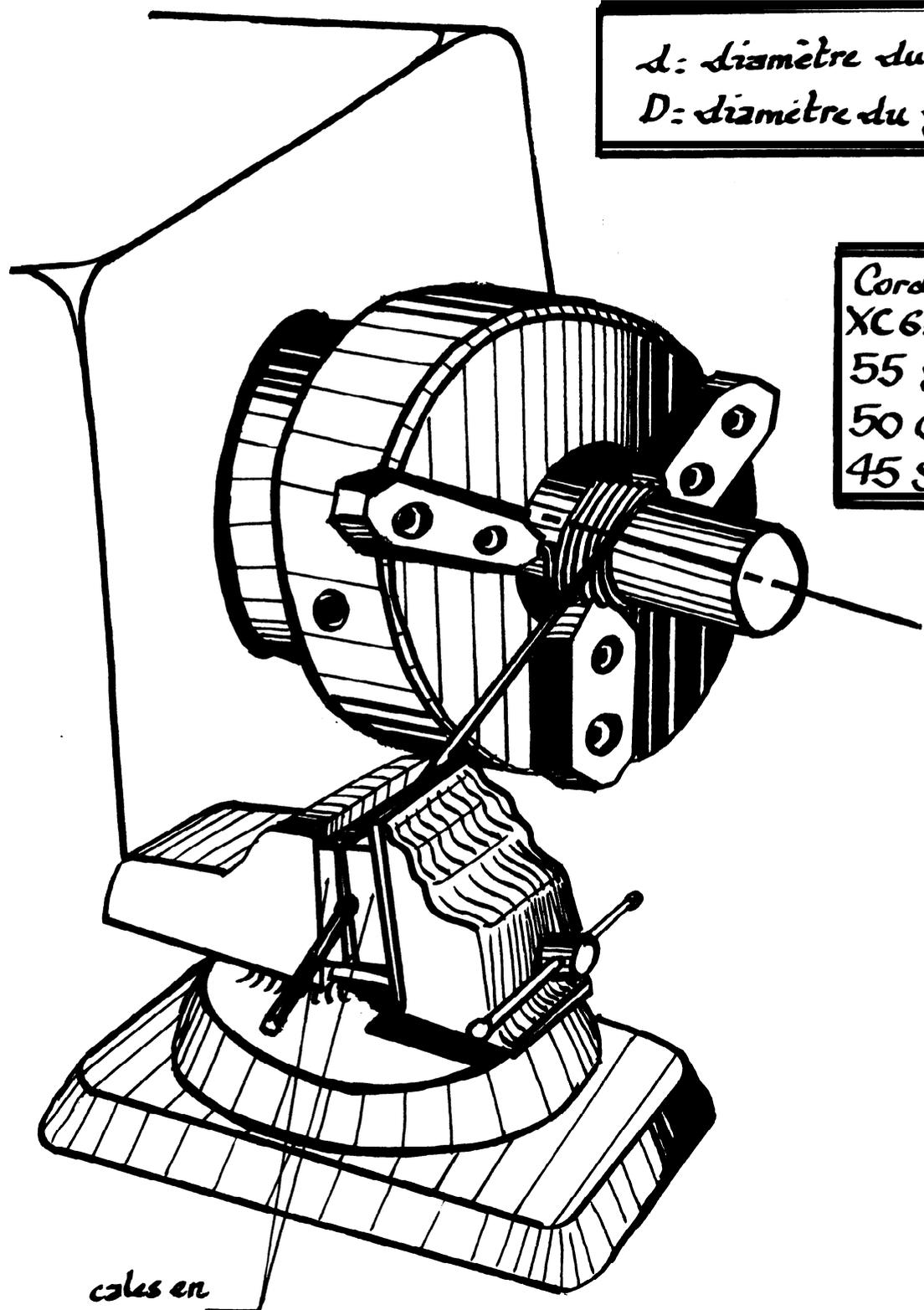
Longueur a vide : $l_0 = l + F \quad l_0 = 44 \text{ mm}$.

Diamètre extérieur : $d_e = 2r + d_2 \quad d_e = 14 \text{ mm}$.

Réalisation de ressort

d : diamètre du fil ≤ 5
 D : diamètre du gabarit $\geq 5d$

Corde à piano en
XC65 . XC80
55 S7
50 CV4
45 SC0.6



calles en bois