

Ressorts Hélicoïdaux

TD-6 – Ressort de soupape

Équipe pédagogique CDIM

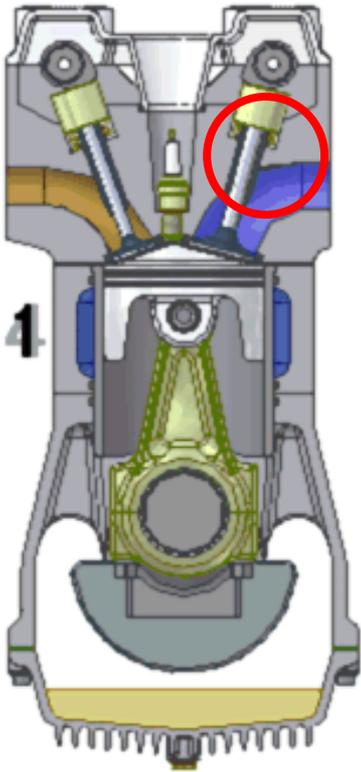


GÉNIE MÉCANIQUE

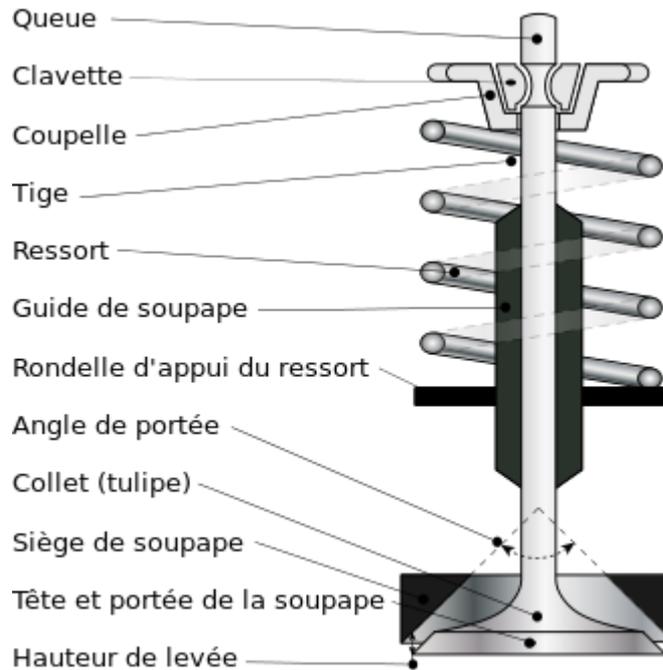
INSA Lyon - Université de Lyon

Système considéré - Objectifs:

Ressort de soupape



Source Wikipedia



Source Wikipedia

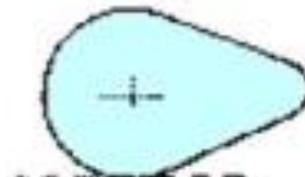
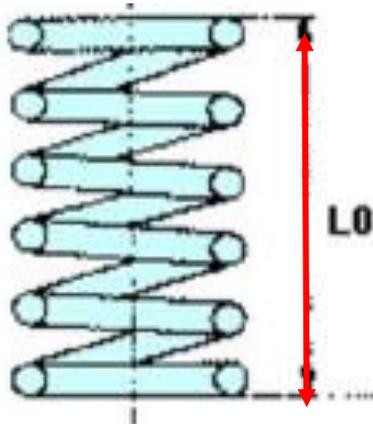
Cahier des charges

- Effort de précharge $F_1=90\text{N}$
- Course $\Delta f = 3\text{mm}$
- Raideur mini 72N/mm
- Extrémités meulées rapprochées (Nb spire terminale 1)
- Nombre de spires actives : 4
- Diamètre fil normalisée (Voir énoncé)
- Matériaux :
 - $\tau_{Emax} = 477\text{ MPa}$
 - $\Delta\tau_{max} = 250\text{ MPa}$
 - $G = 78\text{ Gpa}$
- Coefficient sécurité 1,2

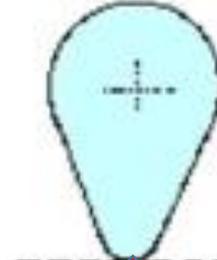
Objectif : dimensionner le ressort cad déterminer toutes les dimensions utiles (diamètres du fils, d'enroulement, hauteur à vide ...)

En fonctionnement – Positions extrêmes

Avant montage



Δf



L_2

Pièces intermédiaires rigides non représentées existant entre le ressort et la came

Soupape fermée :

Le ressort exerce sur la came un effort F_1

$$F_1 = 90 \text{ N}$$

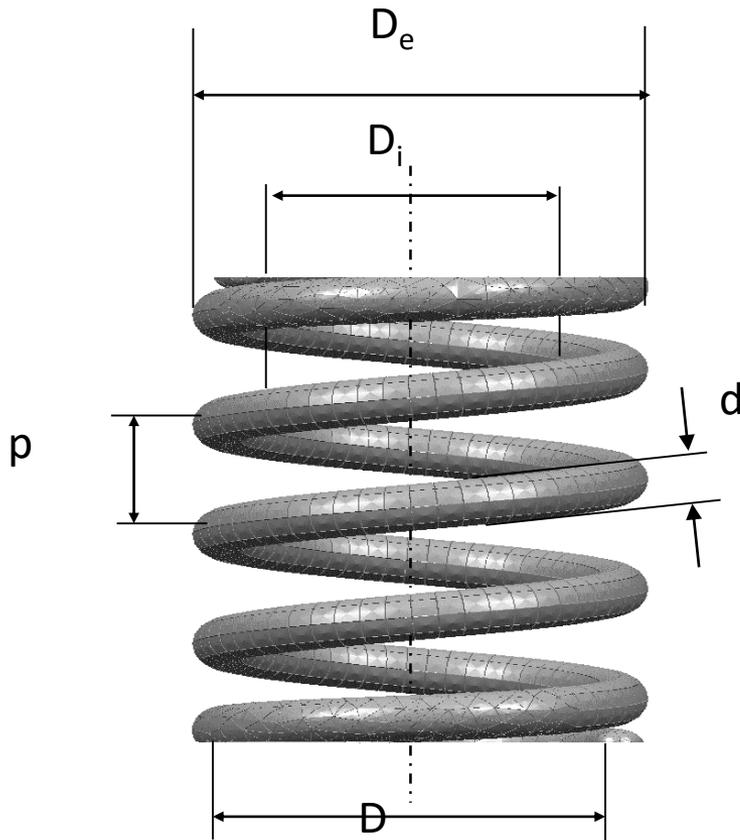
Soupape ouverte :

Le ressort exerce sur la came un effort F_2

La flèche du ressort (écrasement) est Δf

$$\Delta f = 3 \text{ mm}$$

Ce que l'on cherche à dimensionner



D_i : diamètre intérieur des spires

D_e : diamètre extérieur des spires

D : diamètre moyen d'enroulement,
 $D=0,5.(D_i+D_e)$

d : diamètre du fil

p : pas : distance entre 2 spires lorsque la charge appliquée est nulle. En pratique $p=0.3D$

N_a : nombre de spires utiles (=actives N_a)

N_T : nombre de spires totales

$c = \frac{D}{d}$: **rapport d'enroulement** ou indice du ressort. Les fabricants conseillent qu'il soit **compris entre 4 et 10** pour faciliter la fabrication du ressort.



Il n'y a pas unicité de la solution, on va construire un diagramme (c, d) des solution possibles

Dimensionner le ressort

1- Déterminer la valeur minimale de l'effort F_2 exercé lorsque la soupape est ouverte

2- A partir de la formule de la rigidité, donner une première relation entre d et c : $d > f_1(c)$
La tracer sur le diagramme fourni

$$K = \frac{d \cdot G}{8 \cdot c^3 N_a}$$

3- En considérant un critère de résistance statique déduire une seconde relation : $d > f_2(c)$
Compléter le graphe précédent

4- En considérant un critère de résistance en fatigue déduire une troisième relation : $d > f_3(c)$

5- Choisir un ressort avec un diamètre de fil normalisé (Cf énoncé TD)

1,07 – 1,22 – 1,4 – 2 – 2,5 – 2,84 – 3,18 – 3,76 – 4 -4,11 -4,5 – 4,88 – 5 – 5,26 – 6,3

En déduire les grandeurs utiles

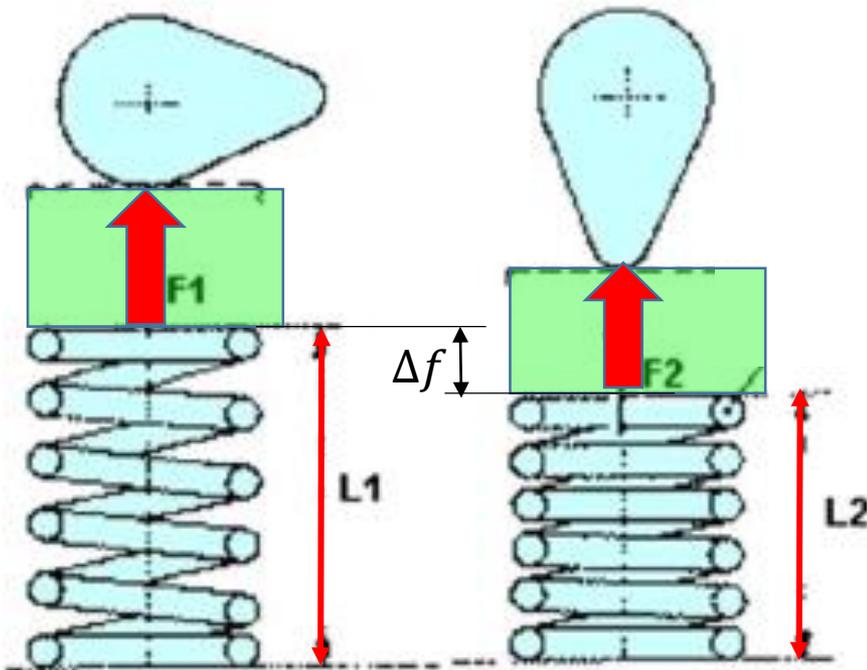
On se retrouve dans 10 mn pour les 2 premiers points



Dimensionner le ressort

1- Déterminer la valeur minimale de l'effort F_2 exercé lorsque la soupape est ouverte

En fonctionnement – Positions extrêmes



$$F_2 = F_1 + K \cdot \Delta f$$

$$K \geq 72 \text{ N/mm}$$



$$F_2 \geq 90 + 72 * 3 = 306 \text{ N}$$

Dimensionner le ressort

2- A partir de la formule de la rigidité, donner une première relation entre d et c : $d > f_1(c)$

La tracer

$$K = \frac{d \cdot G}{8 \cdot c^3 N_a} \geq K_{min} \quad \rightarrow \quad d \geq K_{min} \cdot \frac{8 \cdot c^3 N_a}{G} = f_1(c)$$

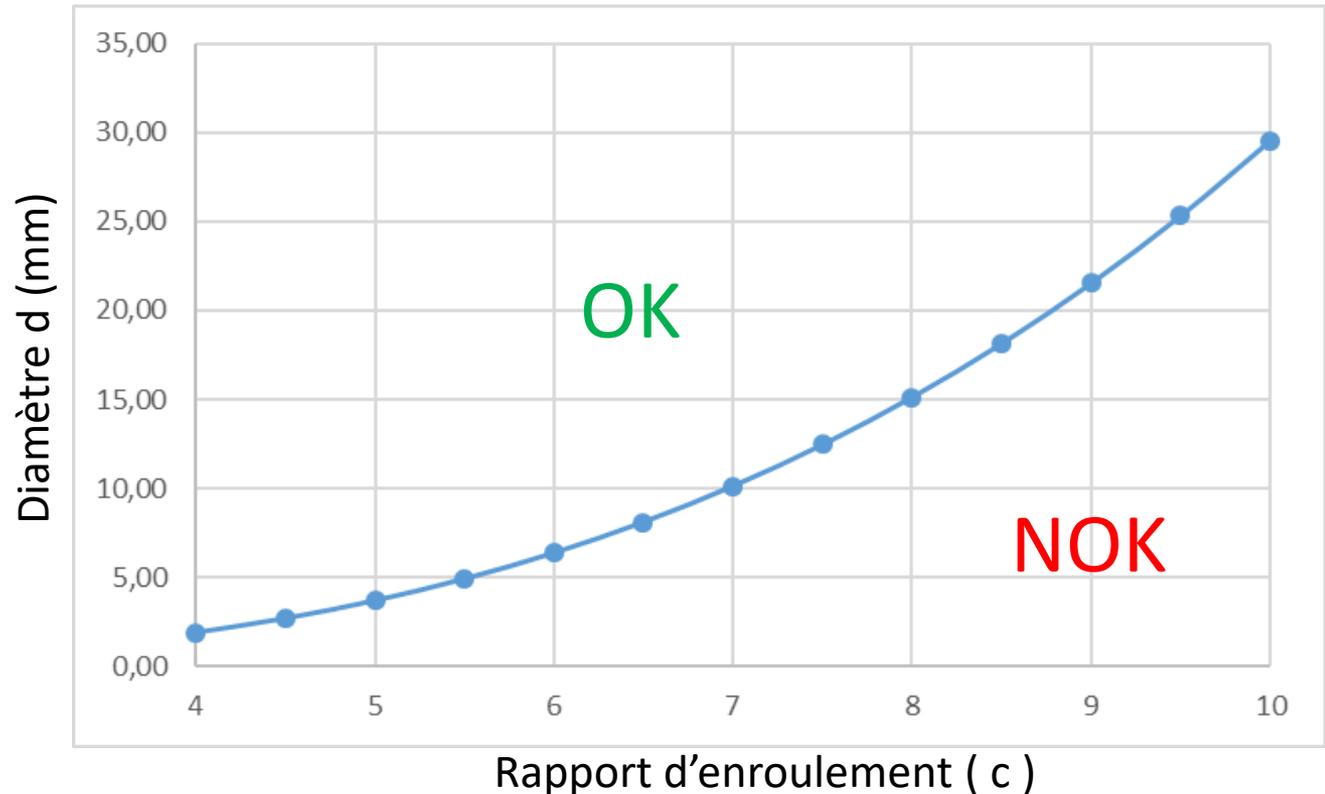
Rq sur les unités :

G en MPa = N / mm²

K en N/ mm

d en mm

c	f1(c)
4	1,89
4,5	2,69
5	3,69
5,5	4,91
6	6,38
6,5	8,11
7	10,13
7,5	12,46
8	15,12
8,5	18,14
9	21,53
9,5	25,33
10	29,54



Dimensionner le ressort

1- Déterminer la valeur minimale de l'effort F_2 exercé lorsque la soupape est ouverte

$$F_2 \geq 90 + 72 * 3 = 306 N$$

2- A partir de la formule de la rigidité, donner une première relation entre d et c : $d > f_1(c)$
La tracer sur une feuille de tableur

$$d \geq K_{min} \cdot \frac{8 \cdot c^3 N_a}{G} = f_1(c)$$

3- En considérant un critère de résistance statique déduire une seconde relation : $d > f_2(c)$
Compléter le graphe précédent

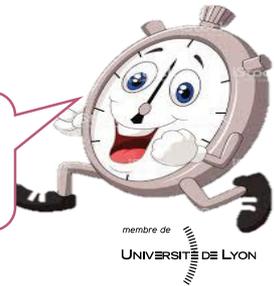
4- En considérant un critère de résistance en fatigue déduire une troisième relation : $d > f_3(c)$

5- Choisir un ressort avec un diamètre de fil normalisé

1,07 – 1,22 – 1,4 – 2 – 2,5 – 2,84 – 3,18 – 3,76 – 4 -4,11 -4,5 – 4,88 – 5 – 5,26 – 6,3

En déduire les grandeurs utiles

On se retrouve dans 5mn
pour le points 3



Dimensionner le ressort

- 3- En considérant un critère de résistance statique déduire une seconde relation : $d > f_2(c)$
Compléter le graphe précédent

La contrainte principale dans les ressorts de traction-compression est essentiellement de la torsion :

$$\tau_t = \frac{8PD}{\pi \cdot d^3}$$

Cette valeur est pondérée par un coefficient qui prend en compte les effets de cisaillement et la courbure du fil : le coefficient de Wahl

$$\tau = K_D \frac{8PD}{\pi \cdot d^3} = K_D \frac{8Pc}{\pi \cdot d^2}$$
$$K_D(c) = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c}$$

Le critère de résistance statique se met donc sous la forme

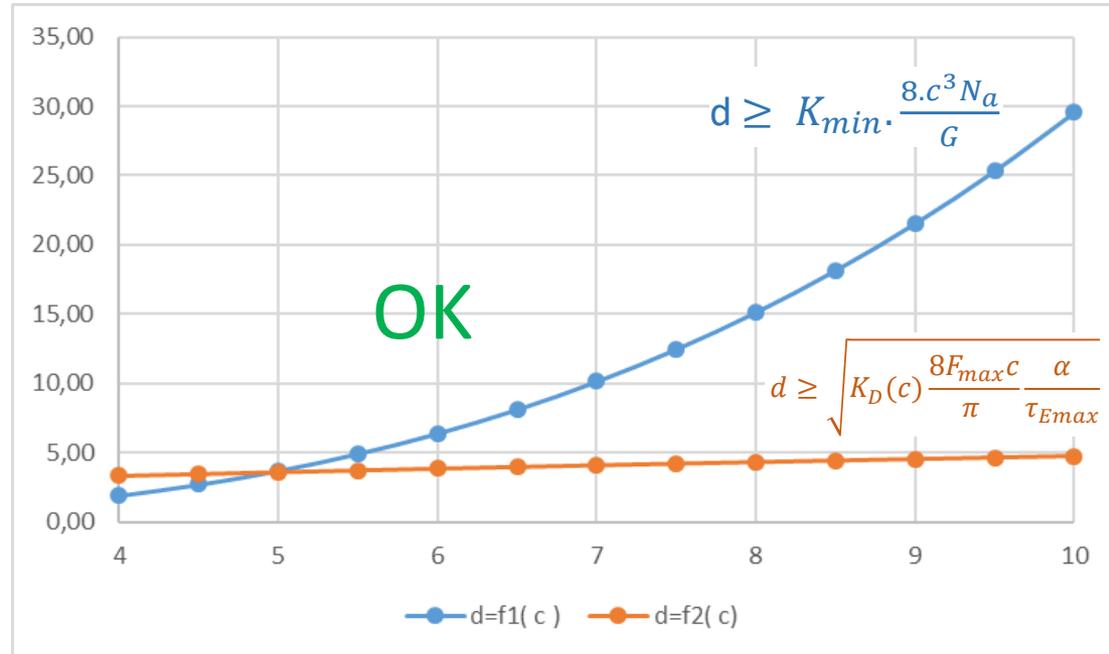
$$\tau = K_D(c) \frac{8F_{max}c}{\pi \cdot d^2} \leq \frac{\tau_{Emax}}{\alpha} \quad \Rightarrow \quad d^2 \geq K_D(c) \frac{8F_{max}c}{\pi} \frac{\alpha}{\tau_{Emax}}$$

$$d \geq \sqrt{K_D(c) \frac{8F_{max}c}{\pi} \frac{\alpha}{\tau_{Emax}}}$$

Dimensionner le ressort

c	d=f1(c)	KD (c)	d=f2(c)
4	1,89	1,40E+00	3,32
4,5	2,69	1,35E+00	3,45
5	3,69	1,31E+00	3,58
5,5	4,91	1,28E+00	3,71
6	6,38	1,25E+00	3,84
6,5	8,11	1,23E+00	3,96
7	10,13	1,21E+00	4,08
7,5	12,46	1,20E+00	4,20
8	15,12	1,18E+00	4,31
8,5	18,14	1,17E+00	4,42
9	21,53	1,16E+00	4,53
9,5	25,33	1,15E+00	4,63
10	29,54	1,14E+00	4,74

Diamètre d (mm)



Rapport d'enroulement (c)

Dimensionner le ressort

1- Déterminer la valeur minimale de l'effort F_2 exercé lorsque la soupape est ouverte

$$F_2 \geq 90 + 72 * 3 = 306 N$$

2- A partir de la formule de la rigidité, donner une première relation entre d et c : $d > f_1(c)$
La tracer sur une feuille de tableur

$$d \geq K_{min} \cdot \frac{8 \cdot c^3 N_a}{G} = f_1(c)$$

3- En considérant un critère de résistance statique déduire une seconde relation : $d > f_2(c)$
Compléter le graphe précédent

$$d \geq \sqrt{K_D(c) \frac{8 F_{max} c}{\pi} \frac{\alpha}{\tau_{max}}}$$

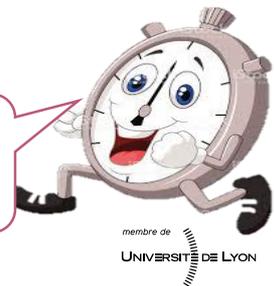
4- En considérant un critère de résistance en fatigue déduire une troisième relation : $d > f_3(c)$

5- Choisir un ressort avec un diamètre de fil normalisé

1,07 – 1,22 – 1,4 – 2 – 2,5 – 2,84 – 3,18 – 3,76 – 4 -4,11 -4,5 – 4,88 – 5 – 5,26 – 6,3

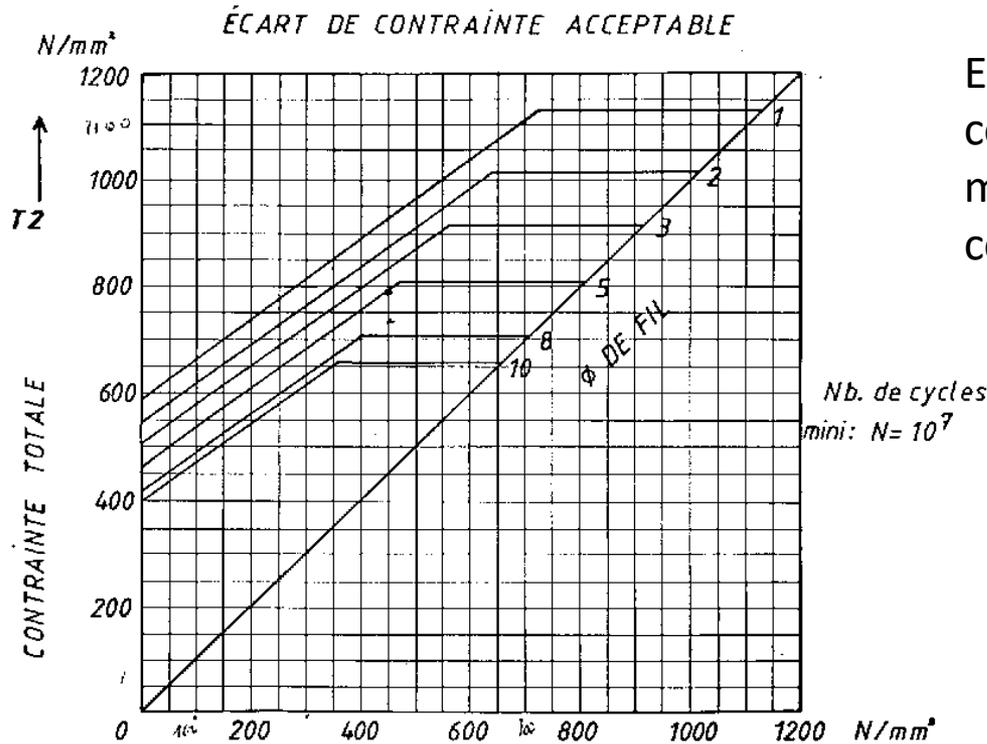
En déduire les grandeurs utiles

On se retrouve dans 5mn
pour le points 4



Dimensionner le ressort

4- En considérant un critère de résistance en fatigue déduire une troisième relation : $d > f_3(c)$



En pratique, les variations cycliques de contraintes admissibles dépendent du matériaux, du diamètre du fil, de la contrainte mini.

Dans ce TD on considère quelles ne dépendent **que du matériaux** :

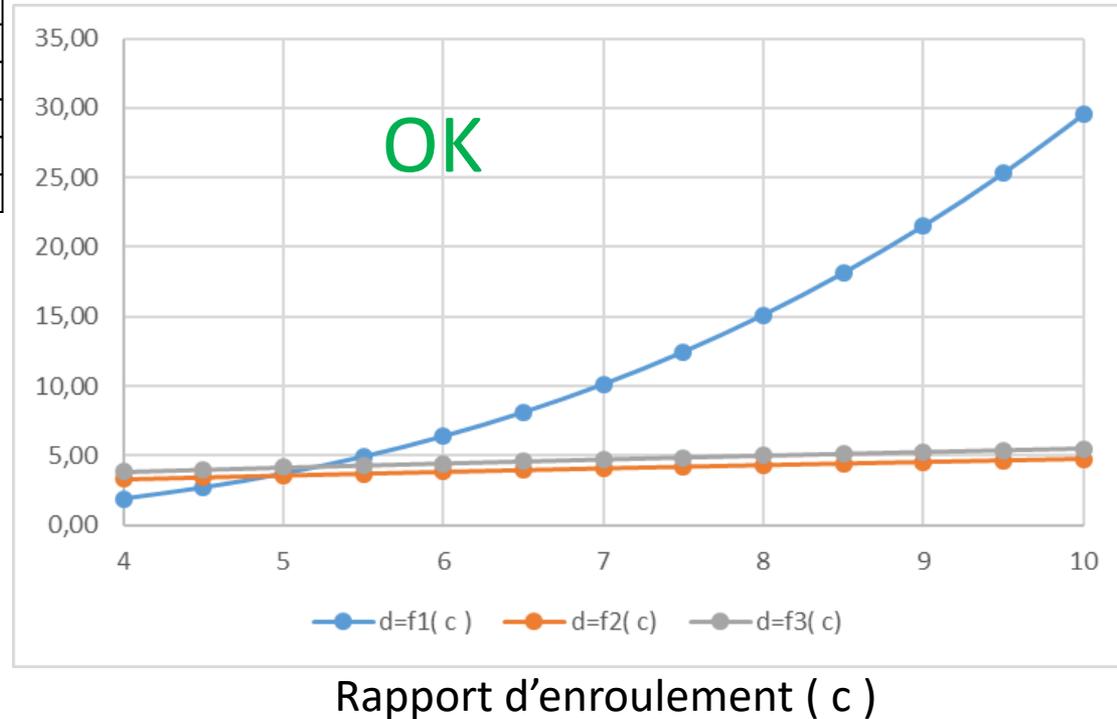
$$\Delta\tau = K_D(c) \frac{8\Delta F_{max}c}{\pi \cdot d^2} \leq \frac{\Delta\tau_{max}}{\alpha}$$

$$d \geq \sqrt{K_D(c) \frac{8\Delta F_{max}c}{\pi} \frac{\alpha}{\Delta\tau_{max}}}$$

Dimensionner le ressort

c	d=f1(c)	KD (c)	d=f2(c)	d=f3(c)
4	1,89	1,40E+00	3,32	3,85
4,5	2,69	1,35E+00	3,45	4,01
5	3,69	1,31E+00	3,58	4,16
5,5	4,91	1,28E+00	3,71	4,31
6	6,38	1,25E+00	3,84	4,45
6,5	8,11	1,23E+00	3,96	4,60
7	10,13	1,21E+00	4,08	4,73
7,5	12,46	1,20E+00	4,20	4,87
8	15,12	1,18E+00	4,31	5,00
8,5	18,14	1,17E+00	4,42	5,13
9	21,53	1,16E+00	4,53	5,25
9,5	25,33	1,15E+00	4,63	5,38
10	29,54	1,14E+00	4,74	5,50

Diamètre d (mm)



Dimensionner le ressort

5- Choisir un ressort avec un diamètre de fil normalisé

~~1,07 – 1,22 – 1,4 – 2 – 2,5 – 2,84 – 3,18 – 3,76 – 4 – 4,11 – 4,5 – 4,88 – 5 – 5,26 – 6,3~~

En déduire les grandeurs utiles

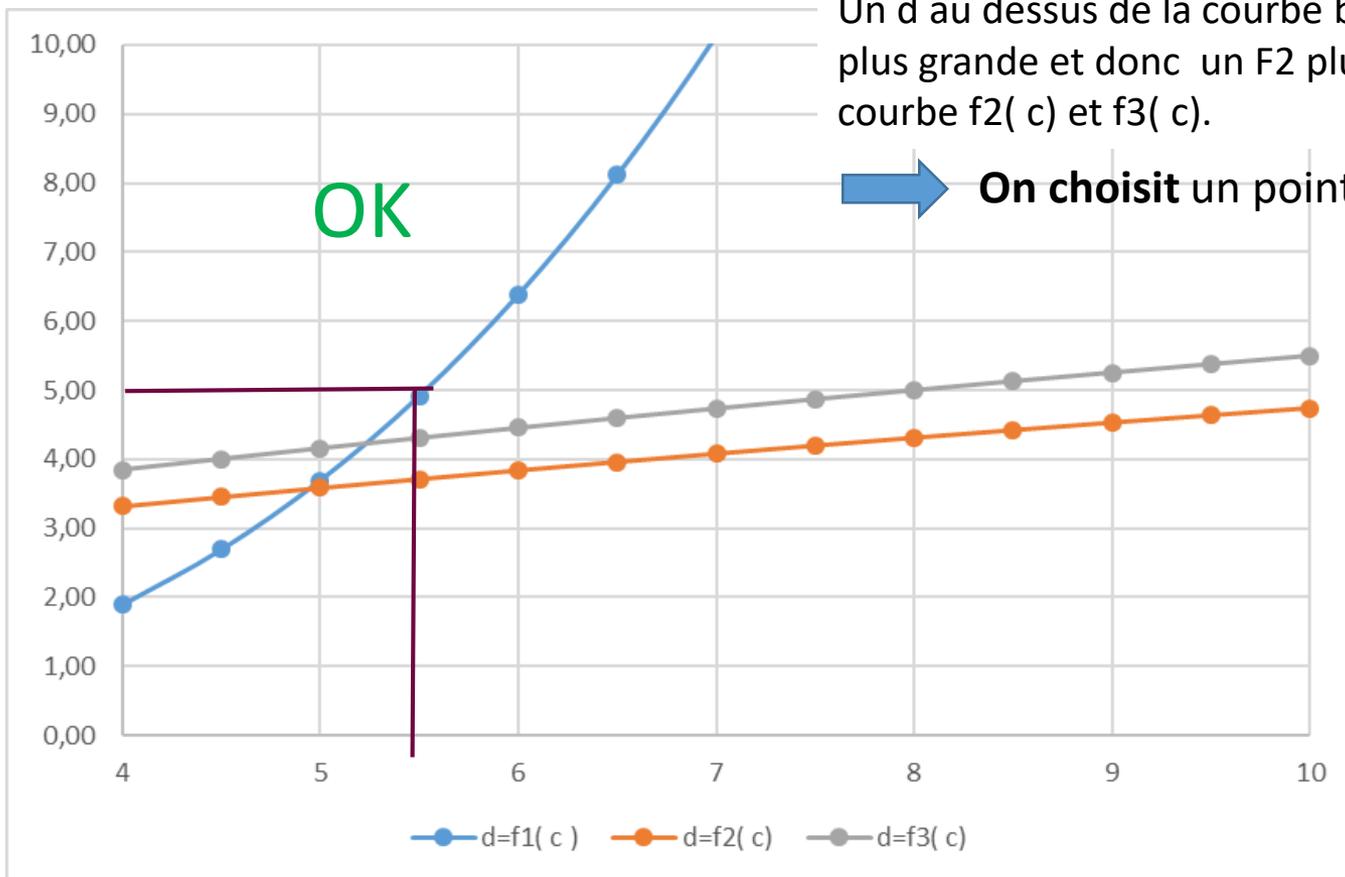
Les courbes de résistance ont été obtenues pour $F_{max} = F_2$
 F_2 a été obtenue pour $K=K_{min}$ (courbe bleue)

Un d au dessus de la courbe bleue conduira à une rigidité plus grande et donc un F_2 plus grand ce qui décalera les courbes $f_2(c)$ et $f_3(c)$.

➔ On choisit un point proche de la courbe bleue

$$F_2 = F_1 + K \cdot \Delta f$$

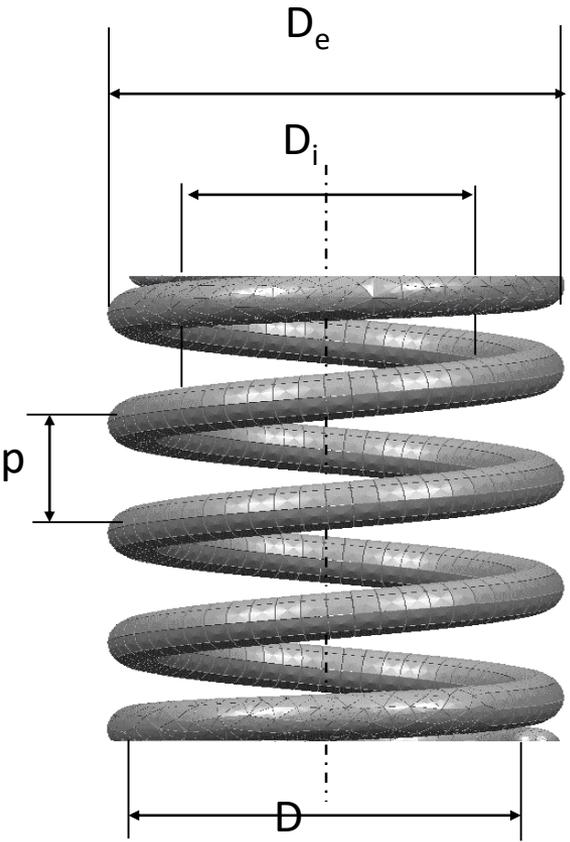
$$F_2 \geq 306 \text{ N}$$



$d = 5 ; c = 5,5$

Ce que l'on cherche à dimensionner

$d = 5$ & $c = 5,5$



Bilan			
d	5	mm	Choix
c	5,5		Choix
$D=c*d$	27,5	mm	
$D_i=D-d$	22,5	mm	
$D_e=D+d$	32,5	mm	
N_a	4		CdC
K_{eff}	73,25	N/mm	
F_2	310	N	
τ_{max}	167	Mpa	OK
$Tu=\tau_{max}E/\alpha_p$	397,5	MPa	

$$K_{eff} = \frac{d \cdot G}{8 \cdot c^3 N_a}$$

$$F_2 = F_1 + K \cdot \Delta f$$

$$\tau_{max} = K_D \frac{8PD}{\pi \cdot d^3}$$

$$K_D(c) = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0,615}{c}$$

Ce que l'on cherche à dimensionner : autres grandeurs

➔ Prise en compte des spires d'extrémité

Problématique : il y a pas de formulation unique ...

- *Non-rapprochées non-meulées (1,5 spires inactives) :*
 $H_j = (N_a + 2,5)d$
 $N_{total} = N_a + 1,5$

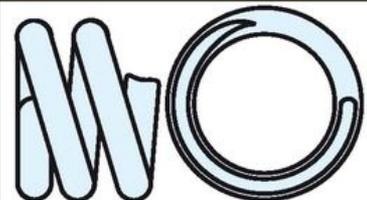
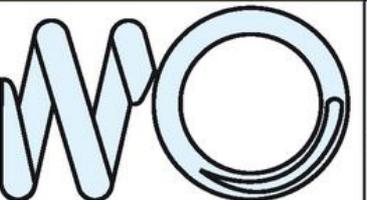
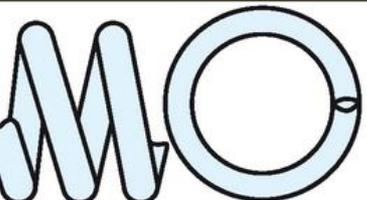
- *Non-rapprochées, meulées sur 75% de la spire :*
 $H_j = (N_a + 1)d$
 $N_{total} = N_a + 1,5$

- *Rapprochées, non-meulées :*
 $H_j = (N_a + 2,5)d$
 $N_{total} = N_a + 1,5$

- *Rapprochées, meulées sur 75% de la spire (Nt, nb de spires terminales) :*
 $H_j = (N_a + 2N_t - 0,5)d$
 $N_{total} = N_a + 2N_t$


Poly

Fanchon

Spires rapprochées		Spires non rapprochées	
non meulées	meulées	meulées	coupées
			
$L = N_a \cdot p + 3d$	$L = N_a \cdot p + 2d$	$L = N \cdot p + d/2$	$L = N \cdot p + d$
$N_a = N - 2 = n = n_t - 2$		$N_a = N - 1 = n_t = n$	

Ce que l'on cherche à dimensionner : autres grandeurs

Techno-Nathan

Spires mortes

Les spires extrêmes, servant d'appui, meulées ou non, étant en appui sur le logement, ne travaillent pas comme les spires utiles et sont appelées spires mortes. Le ressort de compression se compose d'un nombre de spires utiles et, à chaque extrémité, entre 0,75 et 1 spire morte. On obtient le nombre total de spires en ajoutant au nombre de spires utiles 1,5 à 2 spires.

sur tout diamètre D/d et de grand pas.
Pour un ressort enroulé à froid meulé à 0,75 avec $n_t = n + 2$ on a :

Longueur libre $L_o = (\text{spires utiles } n \times \text{pas } m) + 1,5d$

Longueur à bloc $L_c = (n + 1,5) \times d$

$$\text{Pas } m = \frac{L_o - 1,5d}{n}$$

$$\text{Spires utiles } n = \frac{L_o - 1,5d}{m}$$

Pour un ressort meulé et enroulé à chaud :

Longueur à bloc $L_c \leq (n_t - 0,3) \times d$

Pour un ressort non meulé et enroulé à chaud :

Longueur à bloc $L_c \leq (n_t + 1,1) \times d$

Pour un ressort non meulé enroulé à froid avec $n_t = n + 2$ on a :

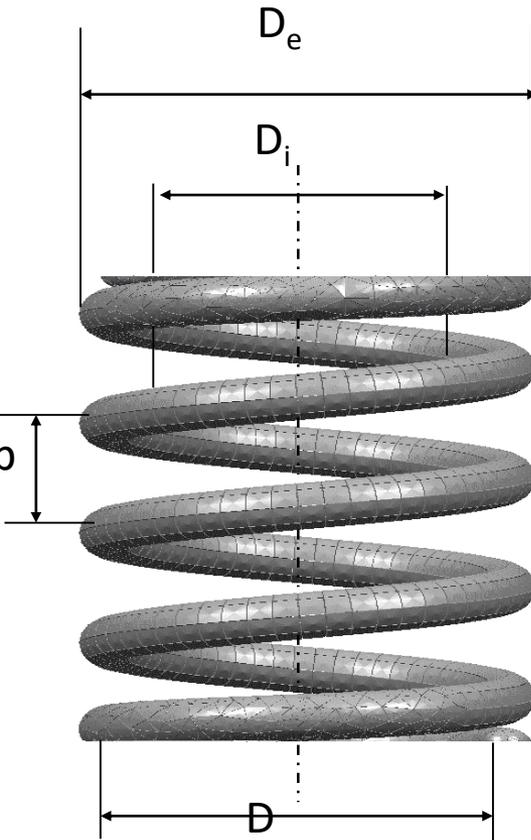
Longueur libre $L_o = (\text{spires utiles } n \times \text{pas } m) + 3d$

Longueur à bloc $L_c = (n + 3) \times d$

$$\text{Pas } m = \frac{L_o - 3d}{n}$$

En pratique se référer au fabricant ...

Ce que l'on cherche à dimensionner



Bilan				
d	5	mm	Choix	
c	5,5		Choix	
D=c*d	27,5	mm		
Di=D-d	22,5	mm		
De=D+d	32,5	mm		
Na	4		CdC	
Keff	73,25	N/mm		
F2	310	N		
Tau_max	167	Mpa	OK	
Tu=TauE/alp	397,5	MPa		
N	6		Poly (1 spire terminale)	
Lj	27,5	mm	Poly (1 spire terminale)	
Pas =0,3D	8,25	mm	CdC	
Lo	51,25	mm		
L2=Lo-F2/K	47,02	mm		

$$L_o = (N_a + 1).p + (N - N_a)d$$

$$L_2 > L_E$$

Le ressort travaille bien dans la zone de linéarité (on est loin de la position totalement écrasée)

