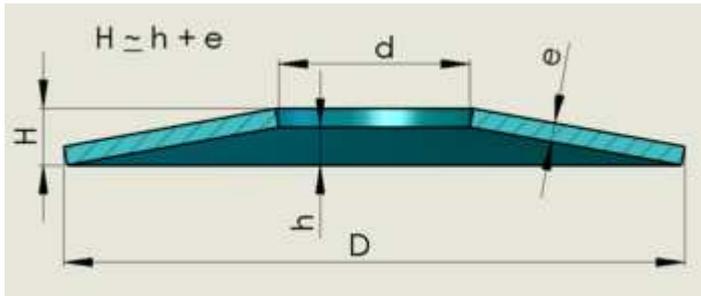


LES FORCES ELASTIQUES

Une **rondelle ressort** (ou **rondelle élastique** ou **rondelle « Belleville »**) est une [rondelle](#) qui assure une fonction [ressort](#).

Ce type de ressort est fréquemment utilisé lorsque l'on souhaite un faible déplacement sous forte charge.

On le trouve couramment dans le commerce sous la désignation de rondelle BELLEVILLE.



Cotation d'une rondelle ressort

Outre leur faible coût, ces rondelles ont l'avantage de pouvoir être associées de diverses manières, ce qui permet non seulement d'obtenir la raideur souhaitée pour l'ensemble, mais encore de créer des systèmes à raideur variable. Les formules donnant la résistance et la déformation de ces rondelles sont très complexes et sans intérêt pratique puisque généralement ces produits sont achetés dans le commerce. Toutefois, certaines rondelles spéciales, possédant des caractéristiques particulières, peuvent être fabriquées à la demande. La rondelle élémentaire a un diamètre intérieur d , un diamètre extérieur D , une épaisseur e et une hauteur à vide H . La flèche maximale sous charge vaut : $h = H - e$

CONDITION DE RESISTANCE

Les rondelles BELLEVILLE sont généralement calculées pour que l'on puisse les aplatir complètement sans les déformer de façon permanente. Il existe donc une charge P dite **charge d'aplatissement**. Au-delà de cette valeur, la rondelle ne se déforme pratiquement plus et elle peut en fait supporter des charges très élevées sans le moindre risque de rupture, comme le ferait une rondelle plate ordinaire. Il est donc pratiquement impossible de surcharger les rondelles BELLEVILLE, ce que l'on peut considérer comme un avantage considérable !

CONDITION DE DEFORMATION

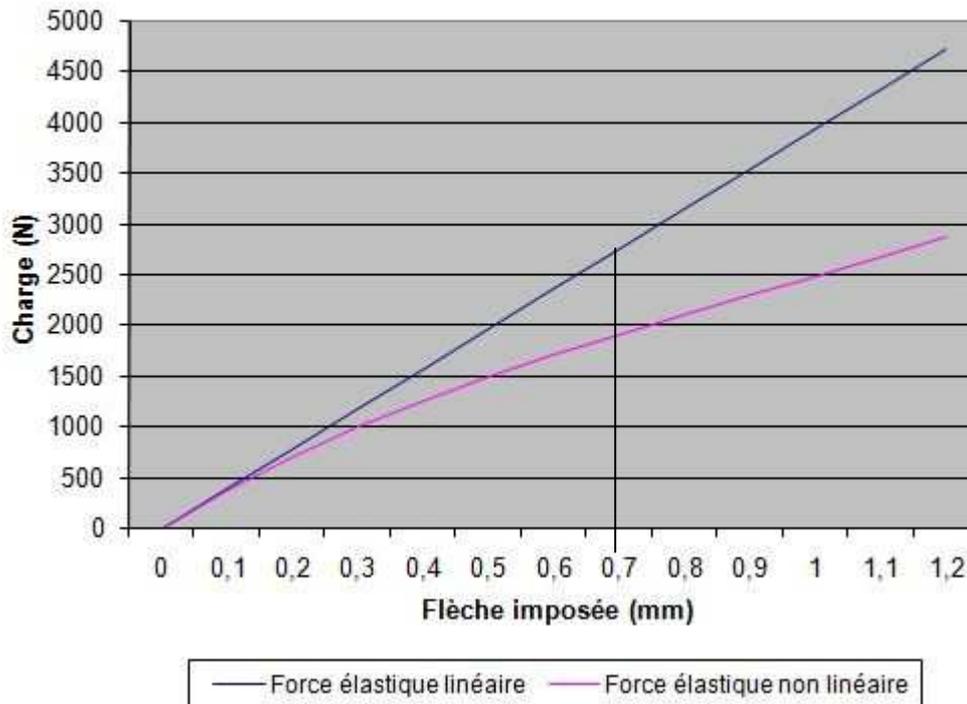
Les rondelles les plus courantes ont une déformation presque linéaire sous faible charge, de sorte que la raideur peut être exprimée par :

$$k = \frac{P}{h}$$

Cependant, il est possible de fabriquer des rondelles ayant des propriétés élastiques très différentes.

Le comportement réel devient non linéaire sous forte charge : une modélisation par élément finis tenant compte des déplacements d'une rondelle standard : $D = 31,5$, $d = 16,3$ et l'épaisseur $e = 1,25$ montre que ce ressort n'est pas très linéaire car la courbe s'éloigne de celle du modèle élastique :

Charges calculées

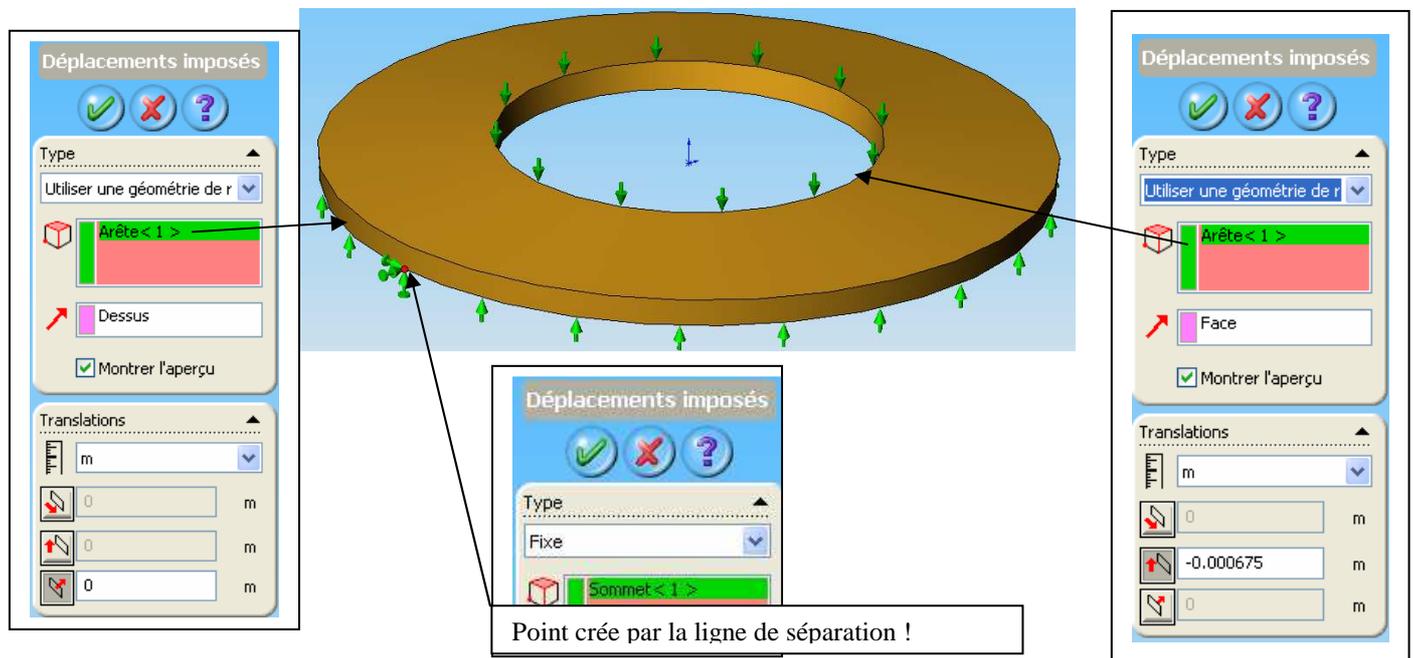


L'exercice de modélisation proposé ci-après permet de retrouver les différents points de ces courbes en faisant varier la flèche mais aussi le mode de calcul : linéaire (par défaut) ou en tenant compte des grands déplacements. Le module d'Young vaut 206000 MPa à 20°C et la limite élastique vaut au moins 1000 MPa.

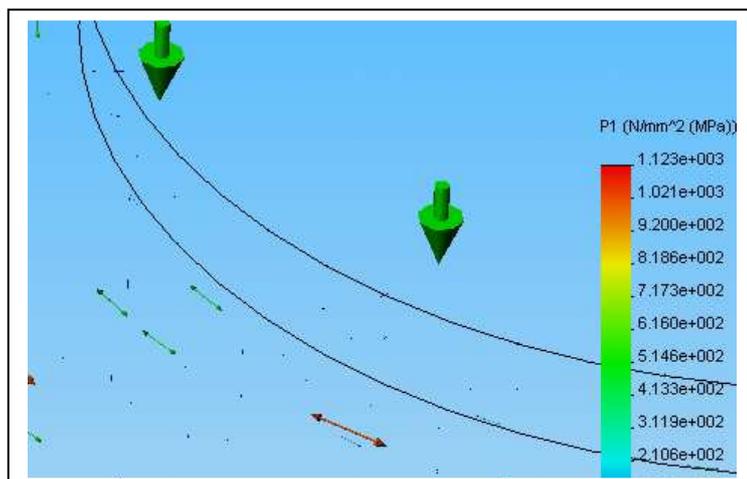
Les fabricants de ce modèle standard pris pour exemple donnent une charge de 1910 N pour 0,675mm de flèche.

EXPRIMENTATION SOUS COSMOSWORKS

- ✚ Charger le fichier 85 - 31,5 x 16,3 x 1,25.SLDPRT
- ✚ Sur le plan de dessus, esquisser une ligne radiale depuis le centre en coupant complètement le modèle.
- ✚ Sortir de l'esquisse. Dans l'onglet **insertion**, choisir **courbe/ligne de séparation** .
- ✚ Choisir **projection** et compléter en sélectionnant respectivement l'esquisse précédemment créée dans l'arbre de construction et la face latérale (épaisseur) extérieure de la rondelle.
- ✚ Dans l'onglet CosmosWorks, faire une étude statique volumique avec les éléments suivants : Matériau acier allié.



- ✚ Cliquer droit sur le nom de l'étude puis **propriétés** : Choisir FFE plus avec grands déplacements.
- ✚ Créer le maillage
- ✚ Exécuter (peut durer des minutes !)
- ✚ Sélectionner l'une des arêtes circulaires soumises à un déplacement imposé puis clic droit sur le dossier Déplacements puis **force de réaction**. (Les différents valeurs de déplacement imposé donneront les forces correspondantes pour tracer la courbe de comportement p2)
- ✚ Dans le dossier contraintes, remplir comme indiqué afin d'obtenir la contrainte normale circonférentielle : (On dépasse la limite élastique)



ASSOCIATION DE RONDELLES SOUS FAIBLE CHARGE (MODELE LINEAIRE)

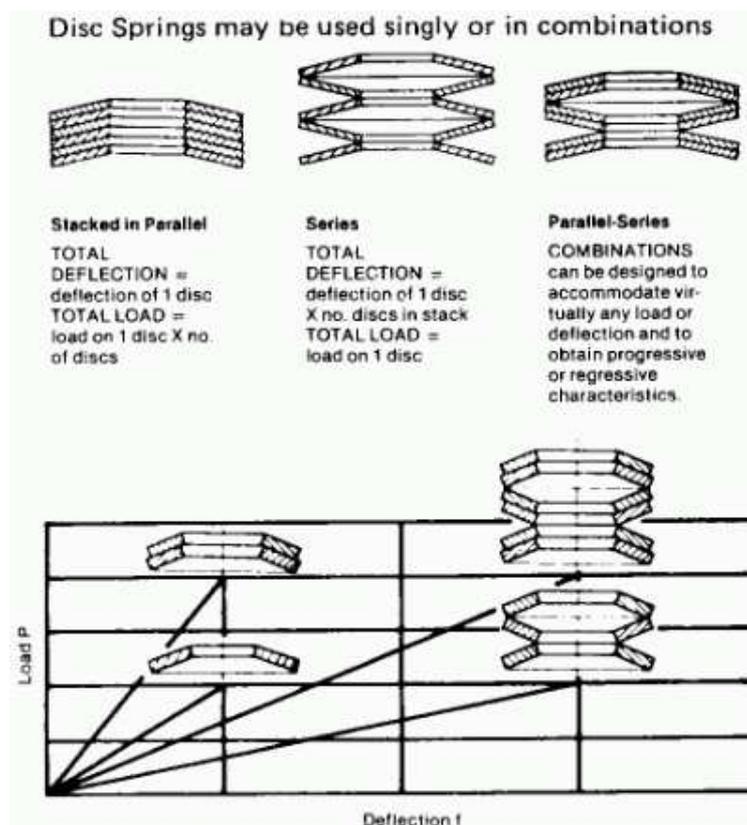
Les rondelles peuvent être empilées dans le même sens, en « paquets ». Un paquet de n rondelles identiques n'a que la flèche maximale h d'une rondelle unique, mais sa charge d'aplatissement est $n P$; si k est la raideur, supposée constante, d'une rondelle unique, la raideur K de l'ensemble est donc :

$$K = \frac{n P}{h} = n k$$

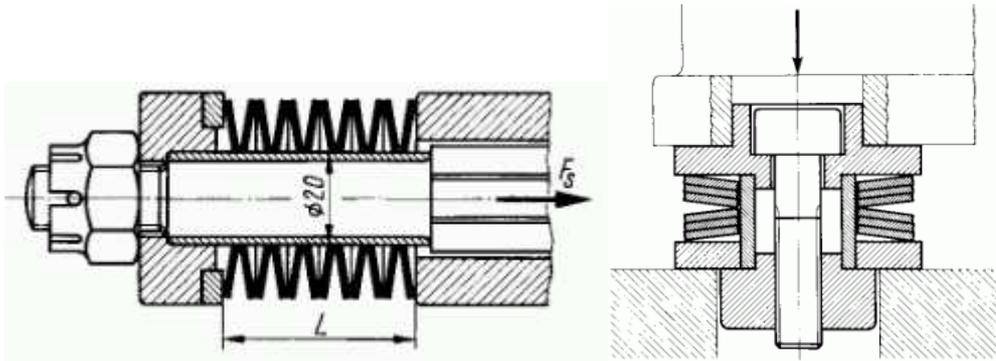
Si les rondelles sont empilées en opposition, la charge d'aplatissement est la même que pour une rondelle unique, tandis que les flèches s'ajoutent. Un empilement de n rondelles en opposition a donc pour raideur :

$$K = \frac{P}{n h} = \frac{k}{n}$$

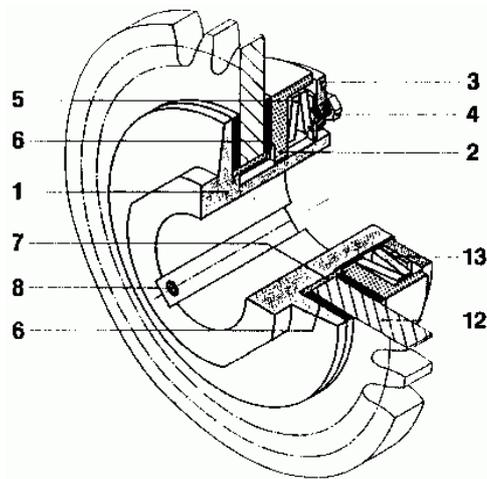
Diverses combinaisons sont présentées ci-dessous, permettant d'obtenir des ressorts aux caractéristiques presque linéaires s'ils sont réalisés avec le bon type de rondelles. Remarquons qu'il est facile d'ajuster la raideur d'un empilement contenant un nombre suffisamment important de rondelles.



Si par exemple nous empilons en opposition deux paquets de deux rondelles, la flèche maximale sera $2h$ et la charge d'aplatissement $2P$... le résultat sera un ressort de même raideur qu'une rondelle unique mais de performances plus étendues. Voici quelques combinaisons usuelles :



La figure ci-dessous montre un limiteur de couple dans lequel l'élément élastique est constitué par deux rondelles Belleville.



D'autres dispositions sont plus subtiles. Si, par exemple, nous mettons en opposition un paquet de deux rondelles avec une rondelle unique, la flèche maximale sera $2h$ et la charge d'aplatissement $2P$, comme dans le cas précédent. Par contre, la courbe caractéristique sera une ligne brisée et non plus un segment de droite. En effet, il faut considérer deux phases distinctes lors de la compression du système :

- lorsque la charge varie de 0 à P les trois rondelles se déforiment linéairement et en même temps, mais pas de la même façon : le paquet de deux rondelles se déforme deux fois moins que la rondelle unique. Lorsque la charge atteint P , la flèche vaut $1,5 h$ car la rondelle seule se trouve complètement aplatie tandis que le paquet de deux n'est qu'à mi-course. Pendant cette phase la raideur est :

$$K_1 = \frac{P}{1,5 h} = \frac{2}{3} k$$

- lorsque la charge varie de P à $2 P$ la rondelle unique est complètement aplatie et n'intervient plus, la flèche augmente de $0,5 h$ et la raideur est celle d'un paquet de deux rondelles, soit :

$$K_2 = 2 k$$

Une telle association donne un ressort d'abord relativement flexible, puis très raide. On peut évidemment inventer de nombreuses autres combinaisons !