

# Manuel Technique

Edition 2009

Your Technology Specialist

**simrit**<sup>®</sup>

# Méthode des éléments finis (FEM)

## Informations Techniques

<b>Représentation du comportement des produits Simrit à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM)</b>	886
---	-----

## Exemples

<b>Bague Simmerring</b>	889
<b>Joint hydraulique</b>	889
<b>Joint pneumatique</b>	890
<b>O-Ring</b>	890
<b>Pièce composite en élastomère</b>	891
<b>Soufflet</b>	891
<b>Membrane</b>	892

## Représentation du comportement des produits Simrit à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM)

Dans les processus modernes de développement, on ne peut plus se passer des procédés de simulations numériques. Ces méthodes permettent, à un stade précoce du développement, d'analyser la faisabilité des nouveaux composants. Ainsi il est possible, d'une part, d'accélérer le développement et de le rendre plus économique, et, d'autre part, d'améliorer considérablement la qualité du produit. Il est évident que ces simulations ne remplaceront jamais complètement les essais avec le composant puisqu'il n'est pas possible de recréer exactement toutes les conditions réelles. Mais il est possible de réduire sensiblement le nombre de tests nécessaires.

Une méthode de simulation largement répandue est celle des éléments finis (FEM). Avec cette méthode, n'importe quel composant, même de géométrie très complexe, peut être décomposé en un grand nombre de petits fragments, les éléments finis. Suivant le problème à résoudre et la géométrie, il peut s'agir d'un maillage de triangles, de carrés, mais aussi de pyramides et de parallélépipèdes rectangles. La discrétisation à base de petits éléments, qui décomposent la géométrie du composant à analyser, permet de décrire numériquement le comportement du composant et de faire des pronostics par ordinateur. Il est ainsi très facile d'étudier différentes géométries, de tester différents matériaux et de vérifier le comportement du composant sous différentes contraintes, sans être obligé, à chaque fois, de réaliser des prototypes onéreux, puis de faire des tests. Ces procédés de simulation permettent notamment de "jeter un coup d'œil à l'intérieur" et de mieux comprendre le comportement du composant.

Pour que l'application des méthodes de simulation soit vraiment utile, il faut que la réalité soit reproduite avec le plus de précision possible. En dehors de la connaissance des sollicitations auxquelles le composant est soumis (températures, pressions, efforts, déplacements, ...), cela nécessite une description correcte du comportement du matériau. Par comportement du matériau on entend l'interaction entre la sollicitation extérieure (un effort, par exemple) et la réaction du matériau (une modification de longueur, par exemple). Ce rapport est, dans la plupart des cas, déterminé à l'aide d'essais de traction avec des éprouvettes simples. Le résultat d'une telle expérience est représenté,

→ Fig. 1, par l'exemple d'un élastomère et d'un rapport entre contrainte mécanique et allongement. Dans les cas les plus simples, il existe un rapport linéaire entre l'effort et la modification de la longueur. On observe ce phénomène, entre autres, avec des matériaux métalliques lorsque la contrainte ne dépasse pas une certaine valeur (limite d'allongement). Mais la → Fig. 1 montre tout de suite que, pour les élastomères, il n'y a pas de rapport linéaire entre contrainte et allongement. Une autre différence par rapport aux matériaux métalliques est l'importance de la déformation des élastomères. Même un allongement de plus de 100 % n'est pas rare.

Pour pouvoir simuler le comportement d'un matériau sur ordinateur, il est nécessaire de décrire le rapport entre la contrainte et l'allongement à l'aide de "modèles". Dans le cas d'un rapport linéaire, c'est tout simple. Pour les élastomères cependant, cela se complique considérablement : pour un comportement non linéaire, il existe, dans les ouvrages techniques, un grand nombre de modèles différents qui font tous partie de la catégorie des "modèles hyperélastiques".

Ces modèles comportent ce qu'on appelle des paramètres de matériau. Ces paramètres permettent d'adapter le modèle à différents matériaux. Dans le cas du comportement linéaire, il n'y a qu'un seul paramètre, à savoir l'inclinaison de la droite, connue comme module d'élasticité du matériau. Pour les lois hyperélastiques, le nombre de paramètres varie considérablement selon le modèle.

→ Fig. 2 montre, en dehors des résultats d'essai, une sélection de modèles. On voit clairement que les différents modèles n'ont pas la même précision d'analyse du comportement réel. Tous les modèles ne sont pas capables de décrire l'accentuation de l'inclinaison ("upturn") dans la courbe contrainte-allongement. Les modèles se distinguent encore plus lorsqu'on souhaite simuler une contrainte par compression (→ Fig. 3), alors que les paramètres restent les mêmes que ceux dans l'essai de traction. Il en résulte deux catégories différentes de modèles hyperélastiques :

D'un côté, il y a la catégorie des modèles phénoménologiques. Ils décrivent la courbe contrainte-allongement

par des fonctions mathématiques. Des exemples sont le modèle Mooney-Rivlin ou le modèle Ogden. Ces types de modèle décrivent très bien les charges auxquelles les paramètres du matériau ont été adaptés (par exemple, une sollicitation par traction). Mais souvent ils posent des problèmes lorsqu'il faut faire des extrapolations pour d'autres types de charges (par exemple, sollicitation par compression). A l'extrême, des contraintes de traction peuvent se produire pendant la déformation par compression, ce qui bien sûr est, au niveau physique, un comportement absurde. Lorsqu'on utilise ce type de modèle, il est donc nécessaire de faire de nombreuses expériences différentes, ce qui rend le processus de détermination des paramètres cher et laborieux.

De l'autre côté, il y a une deuxième catégorie de modèles dits physiquement motivés. Ceux-ci décrivent ce qui se passe du point de vue physique dans le matériau. Leur base est donc physique. Par conséquent, les résultats prévus par ces modèles font toujours sens sur le plan physique et il suffit de déterminer les paramètres à l'aide d'un seul essai (par exemple, essai de traction). Un inconvénient de ces modèles est cependant leur mise au point très onéreuse. C'est aussi la raison pour laquelle les modèles physiques pour élastomères sont si peu nombreux. Le modèle le plus connu est celui de Neo-Hooke, qui n'est toutefois pas à même de décrire l'évolution de la rigidité dans l'essai de traction. Pour

cette raison, nous avons mis au point notre propre modèle physiquement motivé qui décrit correctement tout le comportement mécanique des matériaux. L'utilisation du modèle de Freudenberg présente les avantages suivants : il est capable de pronostiquer correctement le comportement non linéaire des matériaux, y compris l'accroissement de l'inclinaison de la courbe pour des déformations très importantes, et ceci pour des sollicitations jusqu'à un allongement largement supérieur à 100 %.

Etant donné qu'un simple essai de traction suffit pour déterminer les paramètres du matériau, il est possible de le faire très rapidement pour un nouveau matériau et de simuler ainsi l'influence du matériau sur le comportement du composant. De plus, le modèle de Freudenberg permet de prévoir correctement le comportement pour n'importe quel type de sollicitation. Ainsi il est possible de simuler le comportement de composants complexes et de pronostiquer le comportement de ces composants quelle que soit la sollicitation. Pour cette raison, toutes les simulations de composants en élastomère chez Freudenberg sont exclusivement réalisées à l'aide de ce modèle.

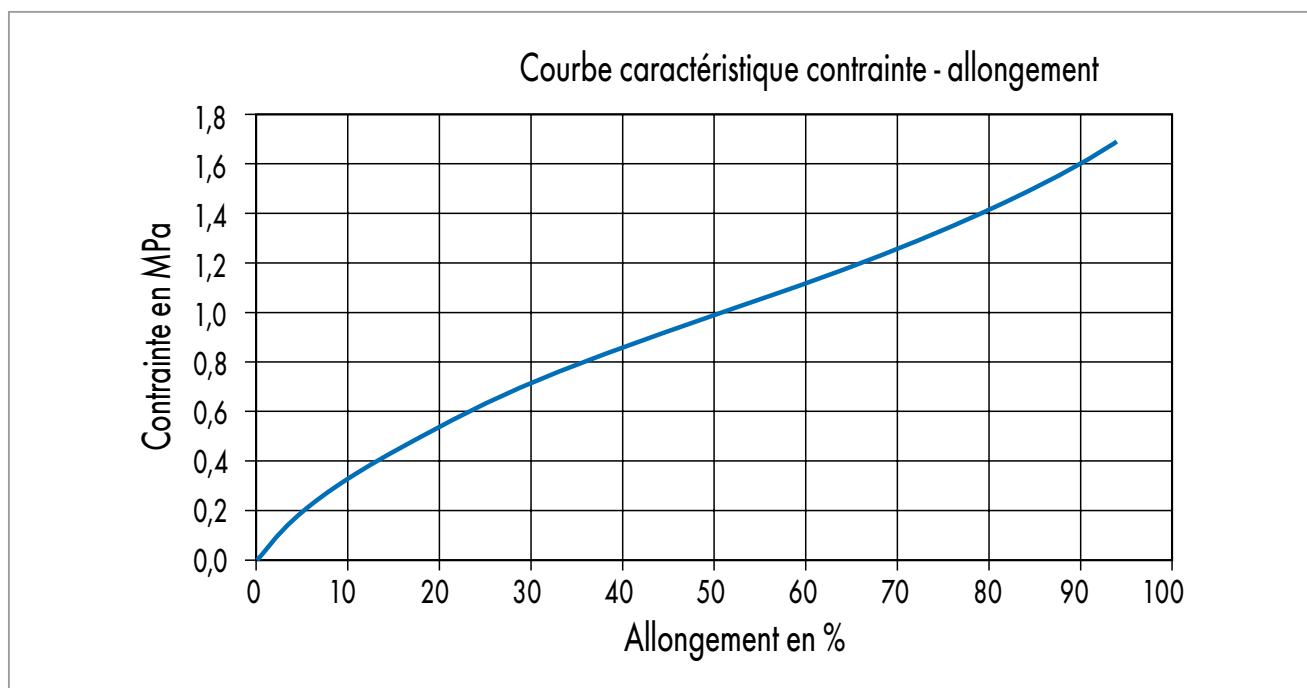


Fig. 1 Essai de traction avec un élastomère

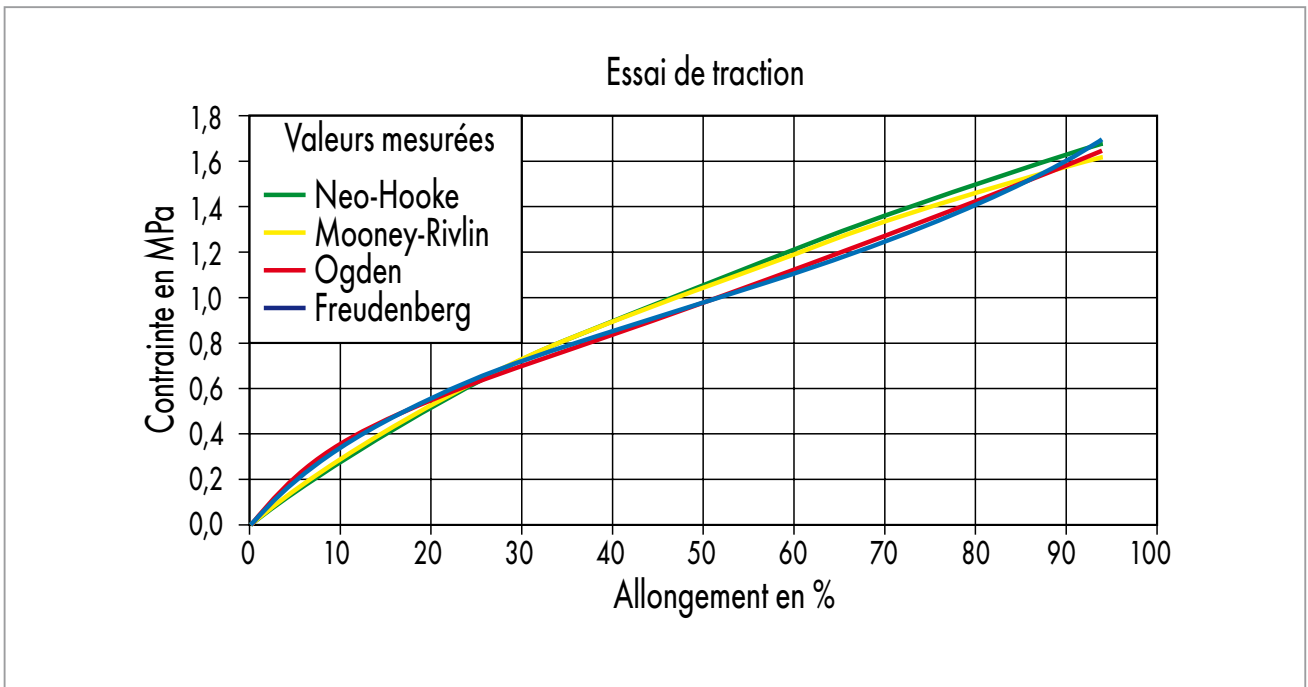


Fig. 2 Modèles adaptés à un essai de traction sur un axe

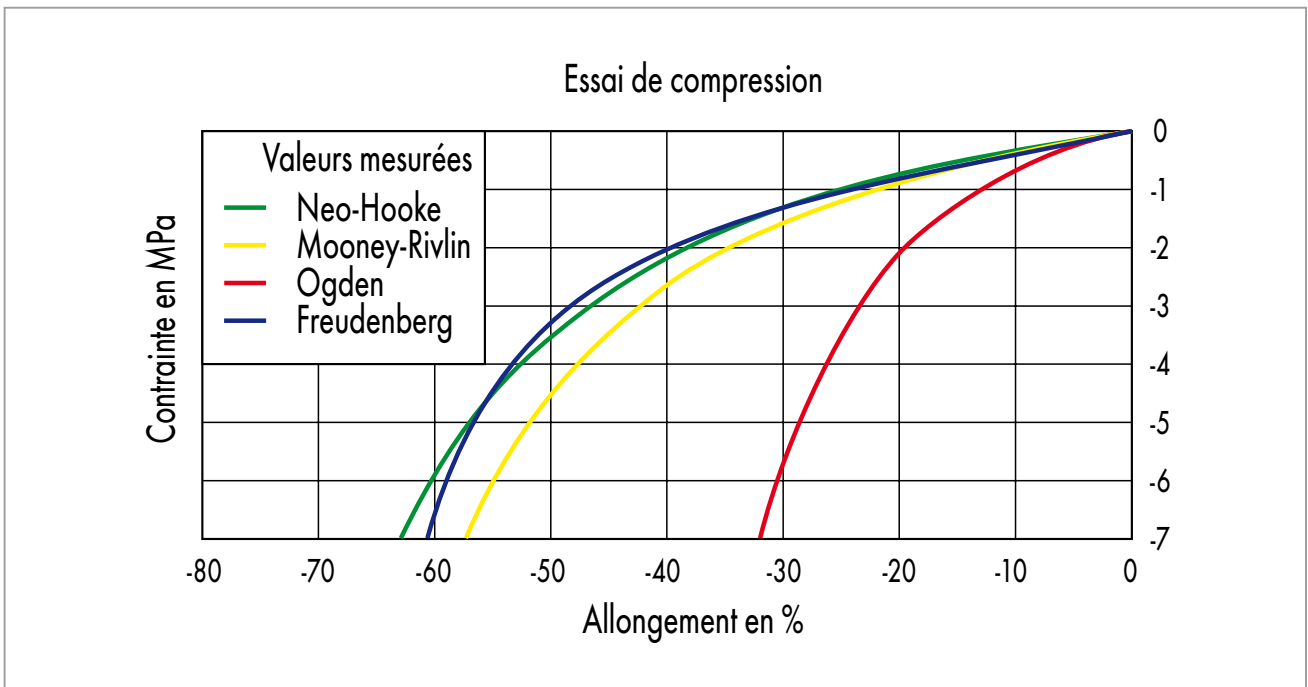


Fig. 3 Modèles adaptés à un essai de compression sur un axe

## Exemples

### Bague Simmerring

La → Fig. 4 montre la géométrie déformée d'une bague standard Simmerring après montage sous une pression de 3 bar. Sur la → Fig. 5, on voit, dans les mêmes conditions d'utilisation, un profil optimisé dont la zone de contact de la lèvre avec l'arbre a été minimisée. L'animation montre la déformation d'un profil spécial qui compense de grands déports de l'arbre. On peut voir que, malgré le déport, la lèvre reste toujours en contact avec l'arbre du côté non chargé.

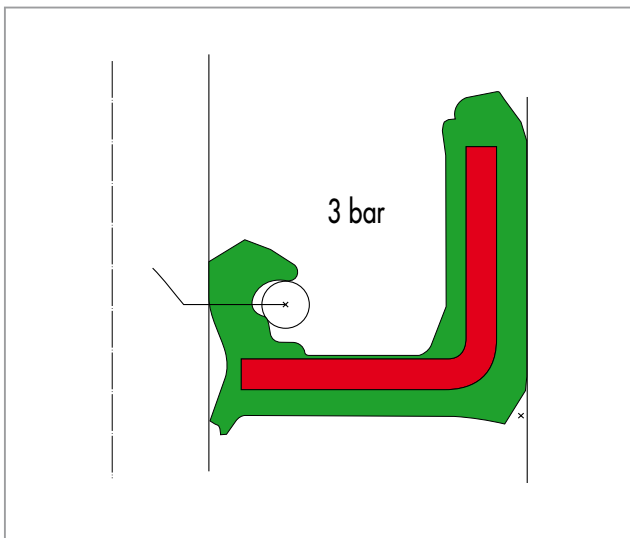


Fig. 4 Profil normal d'une bague Simmerring

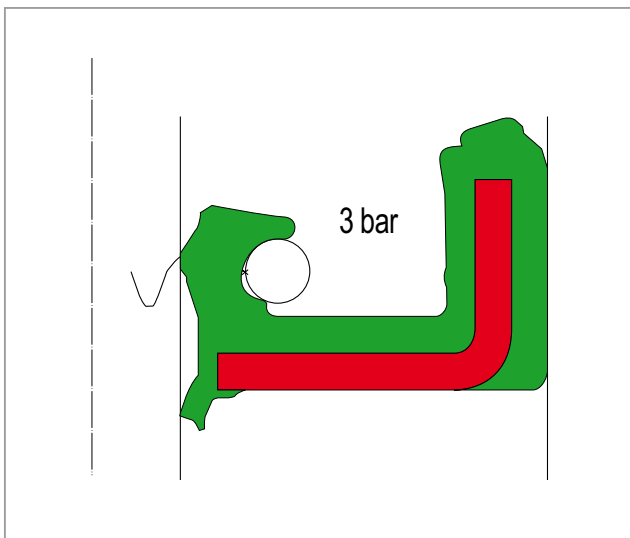


Fig. 5 Profil optimisé d'une bague Simmerring

### Joint hydraulique

La → Fig. 6 montre la géométrie non déformée d'un joint à lèvres Merkel LF 300. Le joint est monté dans une gorge et mis sous pression en fonctionnement. Sa déformation sous une pression de 100 bar est représentée dans la → Fig. 7.

L'animation montre la déformation du joint à lèvres lorsque la pression augmente de 0 bar à 100 bar. En dehors de la déformation, est représentée la sollicitation du matériau.

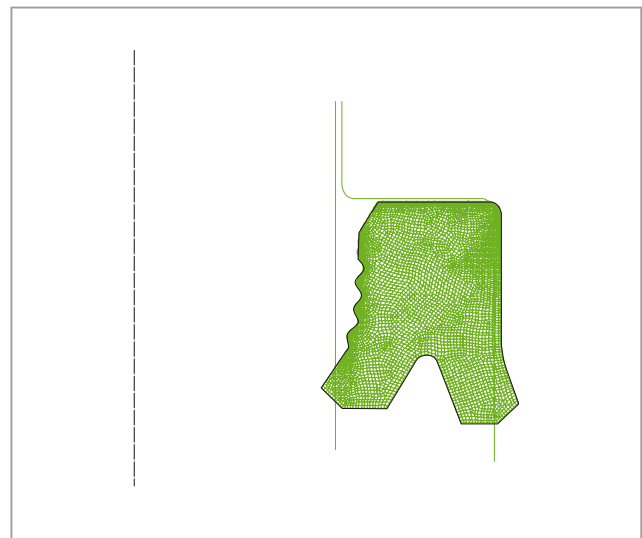


Fig. 6 Joint à lèvres Merkel LF 300, sans déformation

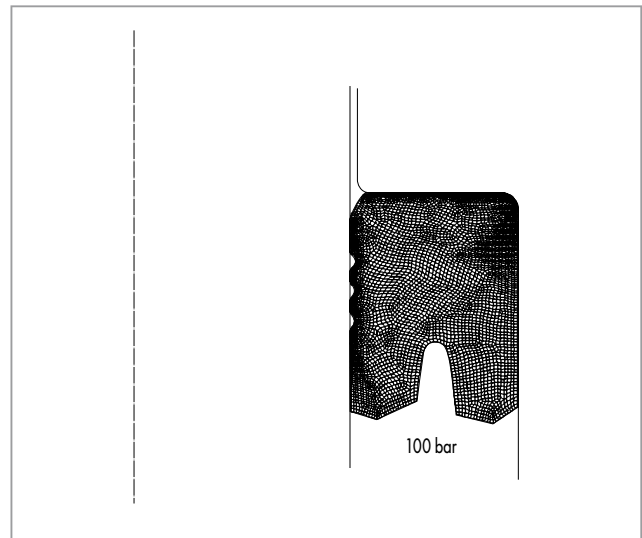


Fig. 7 Joint à lèvres, déformation sous une pression de 100 bar

### Joint pneumatique

La → Fig. 8 montre la géométrie non déformée du joint pneumatique Merkel NAPN 125. Le joint est inséré dans une gorge sur le piston et installé avec la tige dans le cylindre. La déformation du joint en fonctionnement sous une pression de 10 bar est visible dans la → Fig. 9.

L'animation montre la déformation du joint pneumatique après montage sous une pression de 0 à 10 bar.

En dehors de la déformation, on voit également la sollicitation du matériau.

### O-Ring

Sur la → Fig. 10, on voit la géométrie déformée d'un O-Ring standard 40-4 correctement monté. Le même O-Ring est représenté dans la → Fig. 11 avec un jeu trop important et un matériau trop souple, ce qui entraîne son extrusion dans le jeu. Dans les deux cas, on voit, en dehors de la déformation, également la sollicitation du matériau.

L'animation montre la déformation de l'O-Ring sous pression. En dehors de la déformation, la sollicitation du matériau apparaît égalemen

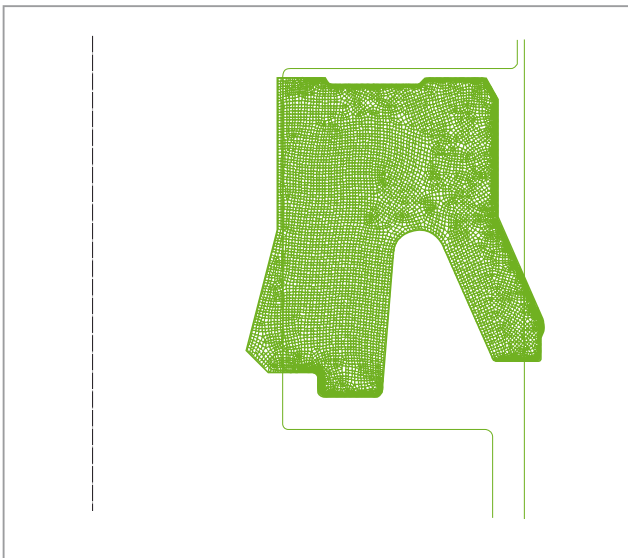


Fig. 8 Merkel Joint à lèvres NAPN 125, sans déformation

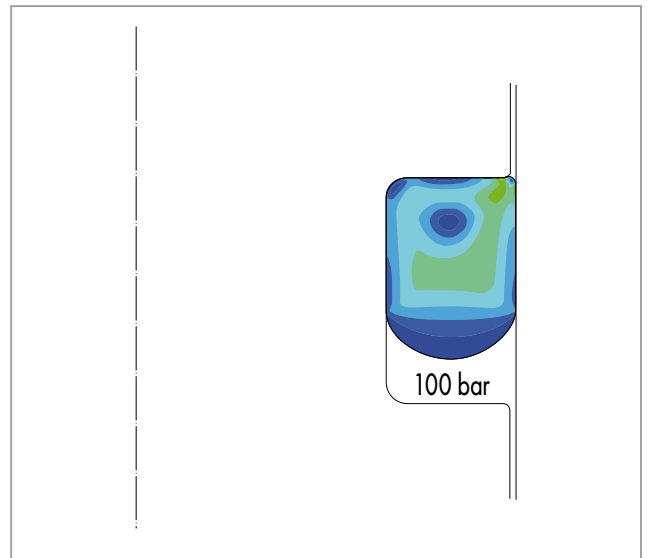


Fig. 10 O-Ring 40-4, 100 bar

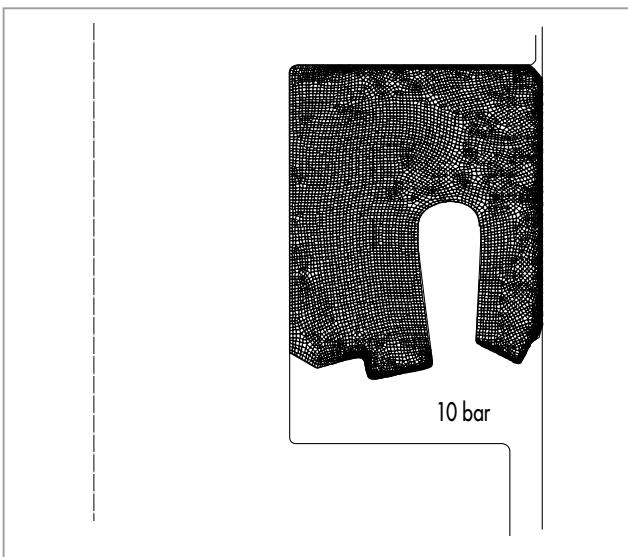


Fig. 9 Merkel Joint à lèvres NAPN 125, déformation sous une pression de 10 bar

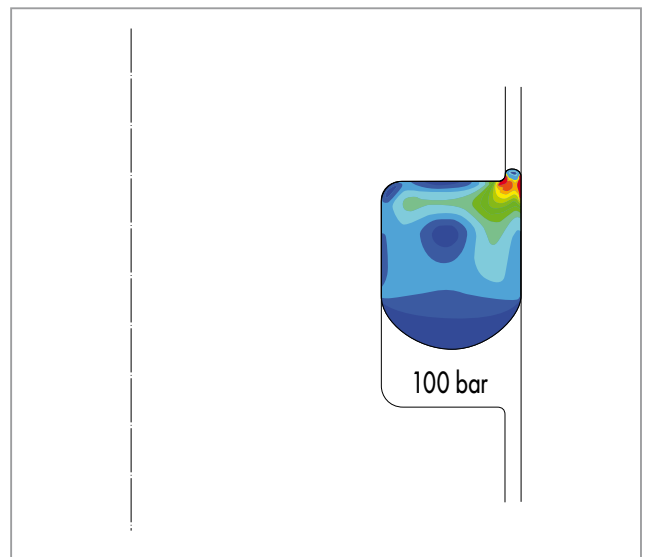


Fig. 11 O-Ring 40-4, 100 bar, extrusion

### Pièce composite en élastomère

La → Fig. 12 représente la géométrie non déformée d'un élément de raccordement Plug & Seal. La déformation de ce composant après montage sous une pression de 10 bar est montrée dans la → Fig. 13.

Sur l'animation, on peut voir la déformation du composant après montage avec une montée en pression jusqu'à 10 bar. En dehors de la déformation, la sollicitation du matériau est également visible.

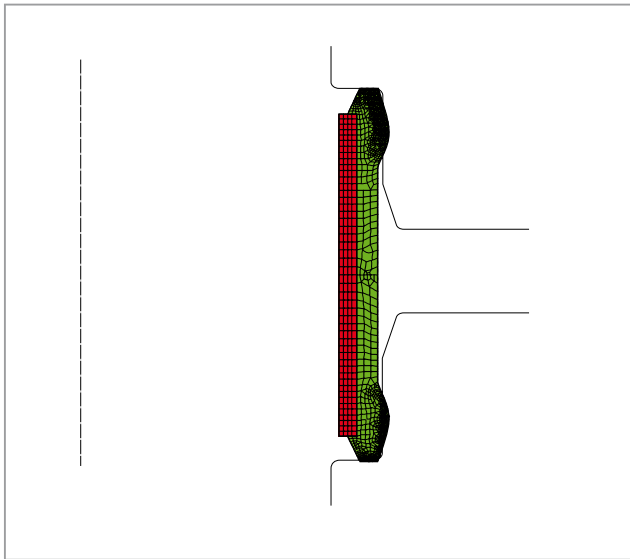


Fig. 12 Élément de raccordement Plug & Seal, sans déformation

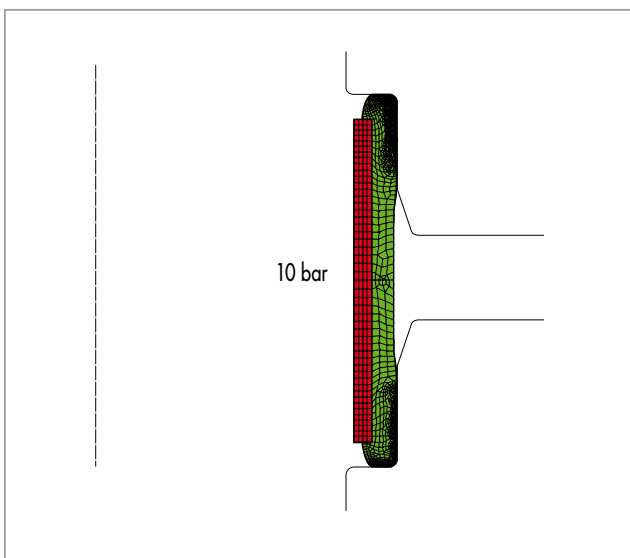


Fig. 13 Élément de raccordement Plug & Seal, déformation sous une pression de 10 bar

### Soufflet

La → Fig. 14 montre le montage d'un soufflet dans une articulation rigide. Dans la → Fig. 15, on voit la structure du soufflet après compression et basculement.

L'animation montre la compression axiale, puis le basculement du soufflet.

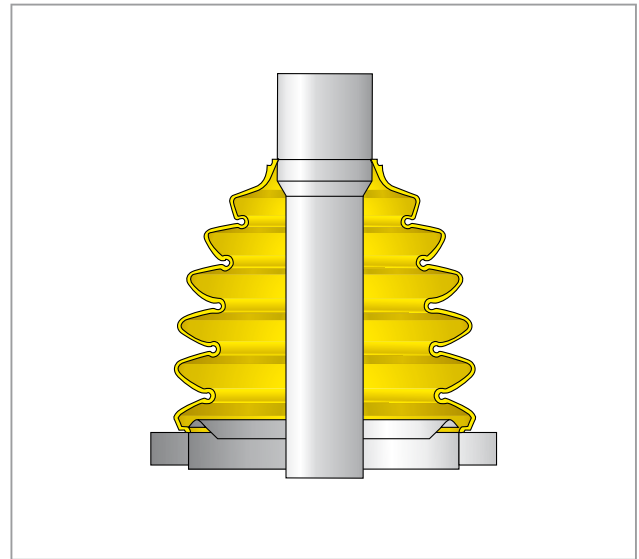


Fig. 14 Soufflet après montage

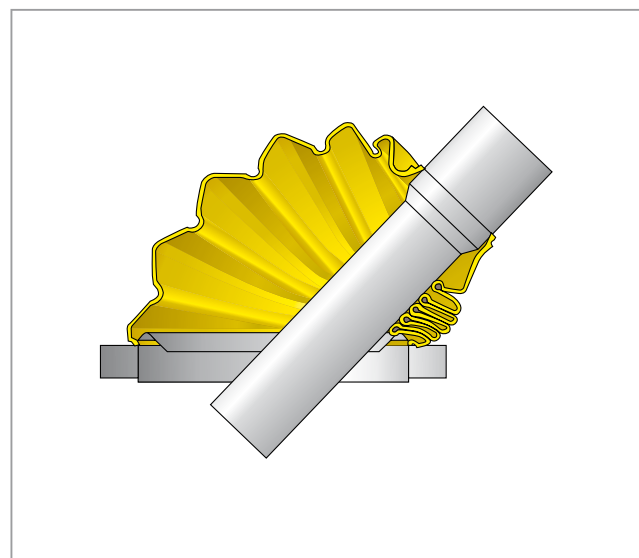


Fig. 15 Soufflet après compression et basculement

## Membrane

La → Fig. 16 montre la géométrie non déformée d'une membrane avant montage. La structure après compression axiale et mise sous pression de 0,5 bar par le fond est visible dans la → Fig. 17. Les nœuds rouges représentent la zone de fixation sur le piston.

L'animation montre le mouvement du piston dans la direction axiale (tout d'abord vers le haut, ensuite vers le bas). Ensuite le fond de la membrane est mis sous pression de 0,5 bar. En dehors de la déformation, on voit aussi la sollicitation du matériau.

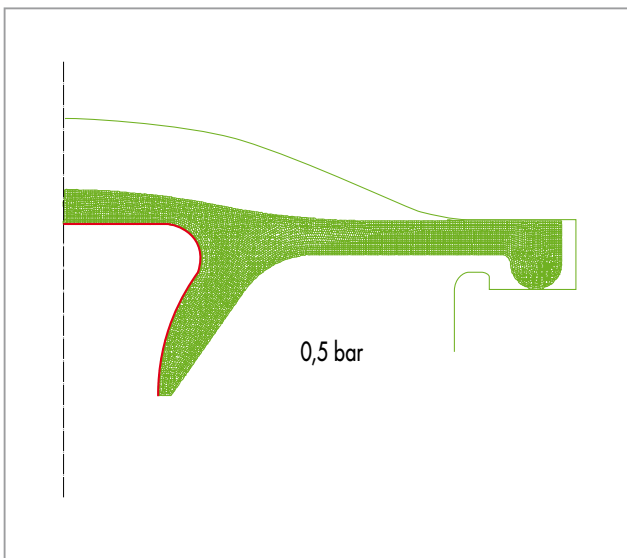


Fig. 16 Membrane, sans déformation

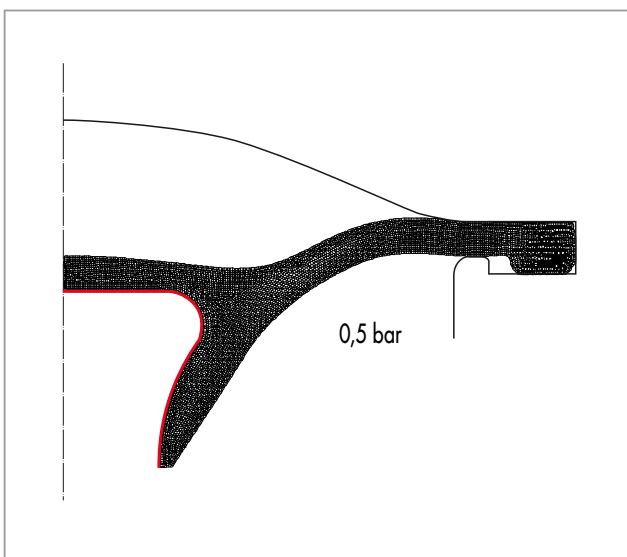


Fig. 17 Membrane avec déformation axiale

[www.simrit.com](http://www.simrit.com)

**simrit**<sup>®</sup>