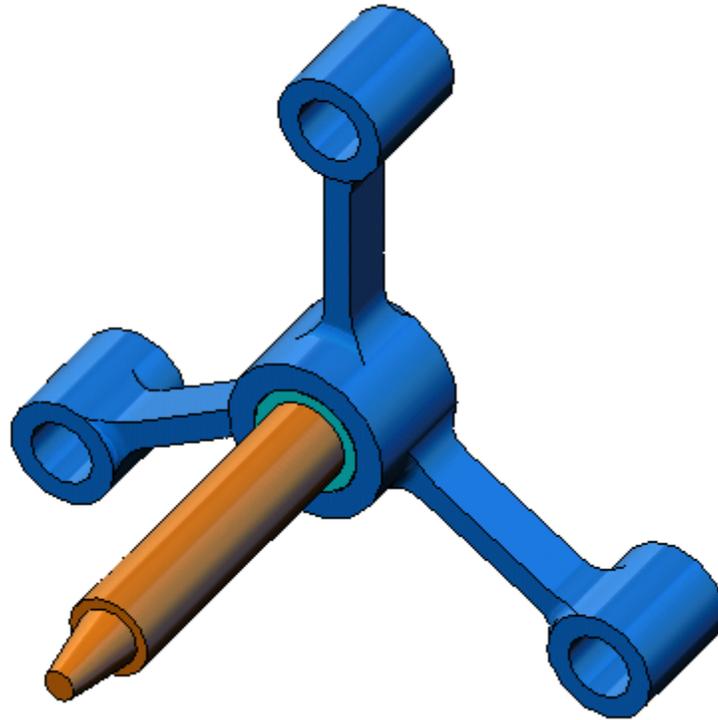




# Introduction aux applications d'analyse des contraintes avec SolidWorks Simulation, Guide de l'étudiant



© 1995-2010, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation est une société de Dassault Systèmes S.A.  
300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 Etats-Unis.

Tous droits réservés.

Les informations et le logiciel dont il est question dans ce document sont sujets à des modifications sans avis préalable et ne constituent pas un engagement de la part de Dassault Systèmes SolidWorks Corporation (DS SolidWorks).

Aucun matériel ne peut être reproduit ou transmis, quels que soient la manière, les moyens utilisés, électroniques ou mécaniques, ou le but, sans l'autorisation écrite formelle de DS SolidWorks.

Le logiciel constituant l'objet de ce document est fourni sous licence, et ne peut être utilisé et reproduit que conformément aux termes de cette licence. Toutes les garanties données par DS SolidWorks concernant le logiciel et la documentation qui l'accompagne sont énoncées dans le Contrat de licence et de service de maintenance de SolidWorks Corporation, et aucun des termes explicites ou implicites de ce document ne peut être considéré comme une modification ou un amendement de ces garanties.

#### **Notifications de brevets pour les produits SolidWorks Standard, Premium et Professional**

Brevets déposés aux Etats-Unis : 5 815 154 ; 6 219 049 ; 6 219 055 ; 6 603 486 ; 6 611 725 ; 6 844 877 ; 6 898 560 ; 6 906 712 ; 7 079 990 ; 7 184 044 ; 7 477 262 ; 7 502 027 ; 7 558 705 ; 7 571 079 ; 7 643 027 et brevets non américains (EP 1 116 190 et JP 3 517 643, par exemple).

Brevets américains et non américains en instance.

#### **Marques déposées et autres notifications pour tous les produits SolidWorks**

SolidWorks, 3D PartStream.NET, 3D ContentCentral, PDMWorks, eDrawings et le logo eDrawings sont des marques déposées de DS SolidWorks et FeatureManager est une marque déposée codétenue par DS SolidWorks.

SolidWorks Enterprise PDM, SolidWorks Simulation, SolidWorks Flow Simulation et SolidWorks 2010 sont des noms de produits de DS SolidWorks.

CircuitWorks, Feature Palette, FloXpress, PhotoWorks, TolAnalyst et XchangeWorks sont des marques de DS SolidWorks.

FeatureWorks est une marque déposée de Geometric Ltd.

Les autres noms de marques ou noms de produits sont les marques ou les marques déposées de leurs titulaires respectifs.

#### **LOGICIEL INFORMATIQUE COMMERCIAL – BREVET**

Mention relative aux droits restreints du gouvernement des Etats-Unis. L'utilisation, la duplication ou la révélation par le gouvernement des Etats-Unis sont soumises aux restrictions énoncées dans la section FAR 52.227-19 (Logiciel informatique commercial - Droits limités), la section DFARS 227.7202 (Logiciels informatiques commerciaux et documentation relative aux logiciels informatiques commerciaux) et le contrat de licence, selon le cas.

Contractant/Fabricant :

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA

#### **Notifications de droits d'auteur pour les produits SolidWorks Standard, Premium et Professional**

Certaines portions de ce logiciel © 1990-2010 Siemens Product Lifecycle Management Software III (GB) Ltd.

Certaines parties de ce logiciel © 1998-2010 Geometric Ltd.

Certaines parties de ce logiciel © 1986-2010 mental images GmbH & Co. KG.

Certaines parties de ce logiciel © 1996-2010 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

Certaines parties de ce logiciel © 2000-2010 Tech Soft 3D.

Certaines parties de ce logiciel © 1998-2010 3Dconnexion.

Ce logiciel est basé en partie sur le travail du groupe indépendant JPEG. Tous droits réservés.

Certaines parties de ce logiciel incorporent PhysX™ de NVIDIA 2006-2010.

Certaines parties de ce logiciel sont protégées par copyright et demeurent la propriété d'UGS Corp. © 2010.

Certaines parties de ce logiciel © 2001-2010 Luxology, Inc. Tous droits réservés, brevets en instance.

Certaines parties de ce logiciel © 2007-2010 DriveWorks Ltd

Copyright 1984-2010 Adobe Systems Inc. et ses concédants. Tous droits réservés. Protégé par les brevets américains 5 929 866 ; 5 943 063 ; 6 289 364 ; 6 563 502 ; 6 639 593 ; 6 754 382 ; Brevets en instance.

Adobe, le logo Adobe, Acrobat, le logo Adobe PDF, Distiller et Reader sont des marques déposées ou des marques commerciales d'Adobe Systems Inc. aux Etats-Unis et dans d'autres pays.

Pour plus d'informations sur les droits d'auteur, voir la rubrique d'aide > A propos dans SolidWorks.

D'autres parties de SolidWorks 2010 sont la propriété des détenteurs de licences DS SolidWorks.

#### **Avis de droits d'auteur pour SolidWorks Simulation**

Certaines parties de ce logiciel © 2008 Solversoft Corporation.

PCGLSS © 1992-2007 Computational Applications and System Integration, Inc. Tous droits réservés.

Certaines parties de ce logiciel sont distribuées sous licence de DC Micro Development, Copyright © 1994-2005 DC Micro Development, Inc. Tous droits réservés.

# Introduction

## A propos de ce cours

L'Introduction aux applications de l'analyse des contraintes avec SolidWorks Simulation et son matériel de support sont conçus pour vous aider à apprendre SolidWorks Simulation dans un environnement scolaire.

## Tutoriels en ligne

L'Introduction aux applications de l'analyse des contraintes avec SolidWorks Simulation est une ressource supplémentaire complétée par les Tutoriels en ligne SolidWorks Simulation.

### Accès aux tutoriels

Pour lancer les tutoriels en ligne, cliquez sur **Aide, Tutoriels SolidWorks, All SolidWorks Tutorials**. La fenêtre SolidWorks est redimensionnée et une seconde fenêtre apparaît à son côté et affiche une liste des tutoriels disponibles. Lorsque vous déplacez le pointeur sur les liens, une illustration du tutoriel apparaît au bas de la fenêtre. Cliquez sur le lien voulu pour démarrer le tutoriel.

### Conventions

Réglez la résolution de votre écran sur 1280 x 1024 pour un affichage optimal des tutoriels.

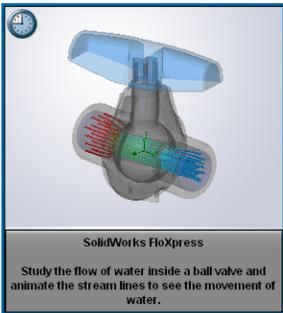
Les icônes suivantes apparaissent dans les tutoriels :

 Passe à l'écran suivant du tutoriel.

 Représente une note ou un conseil. Ce n'est pas un lien ; les informations sont à droite de l'icône. Les remarques et les conseils vous montrent des étapes et suggèrent des solutions qui vous font gagner du temps.



Tous les tutoriels SolidWorks	
Vie d'ensemble de 30 minutes	Pièces à corps multiples
Esquisse 3D	Fonctions de répétition
Esquisse 3D avec des plans	PhotoWorks
Leçon 1 - Pièces	Révolutions et balayages
Leçon 2 - Assemblages	Routage - Tuyaux et tubes
Leçon 3 - Mises en plan	Tôlerie
Conception avancée	Composants intelligents
Techniques avancées de mise en plan	SolidWorks API
Animation	SolidWorks eDrawings
Contraintes d'assemblage	SolidWorks FloXpress
AutoCAD et SolidWorks	SolidWorks Motion
Blocs	SolidWorks SimulationXpress
Personnaliser SolidWorks	SolidWorks Utilities
Design Checker	SolidWorks Workgroup PDM
Familles de pièces	Surfaces
DriveWorksXpress	Toolbox
FeatureWorks	Constructions soudées
Congés	
Import/Export	
Lissages	
Conception de moules	
Conception avancée de produits moulés	

**SolidWorks FloXpress**

Study the flow of water inside a ball valve and animate the stream lines to see the movement of water.

-  Vous pouvez cliquer sur la plupart des boutons de barre d'outils qui apparaissent dans la leçon pour faire clignoter le bouton SolidWorks correspondant. La première fois que vous cliquez sur le bouton, un message ActiveX apparaît : An ActiveX control on this page might be unsafe to interact with other parts of the page. (Un contrôle ActiveX sur cette page peut présenter un risque dans l'interaction avec d'autres parties de la page). Do you want to allow this interaction ? (Voulez-vous autoriser cette interaction ?) Ce message est une mesure de précaution standard. Les contrôles ActiveX dans les Tutoriels en ligne n'endommageront pas votre système. Si vous cliquez sur **Non**, les scripts sont désactivés pour cette rubrique. Cliquez sur **Oui** pour exécuter les scripts et faire clignoter le bouton.
-  **Ouvrir le fichier** ou **Régler cette option** ouvre le fichier ou règle l'option automatiquement.
-  **Video example (Exemple vidéo)** affiche une vidéo sur cette étape.
-  **En savoir plus sur...** renvoie à des informations supplémentaires concernant une rubrique. Cette option n'est pas nécessaire pour terminer le tutoriel, mais elle offre plus de détails sur le sujet traité.
-  **Pourquoi ai-je...** renvoie à des informations supplémentaires sur une procédure et les raisons de son choix. Ces informations ne sont pas nécessaires pour terminer le tutoriel.

### Impression des tutoriels

Si vous le souhaitez, vous pouvez imprimer les tutoriels en ligne en suivant la procédure ci-dessous :

- 1 Dans la barre d'outils de navigation du tutoriel, cliquez sur **Montrer**  .  
Le sommaire des tutoriels en ligne s'affiche.
- 2 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le livre que vous souhaitez imprimer et sélectionnez **Imprimer** dans le menu contextuel.  
La boîte de dialogue **Imprimer des rubriques** apparaît.
- 3 Sélectionnez **Imprimer le titre sélectionné et toutes les sous-rubriques** et cliquez sur **OK**.
- 4 Répétez ce processus pour chaque leçon que vous souhaitez imprimer.

### Gamme de produits SolidWorks Simulation

---

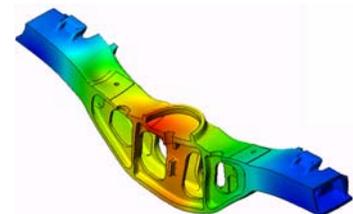
Ce cours est une introduction à la simulation linéaire statique de corps élastiques à l'aide de SolidWorks Motion Simulation ; cependant, la gamme complète de produits couvre une grande variété de domaines d'analyses qui doivent être pris en compte. Les paragraphes ci-dessous listent la totalité des packages et modules offerts par SolidWorks Simulation.

Les études statiques proposent des outils pour l'analyse des contraintes linéaires des pièces et assemblages chargés au moyen de chargements statiques. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :

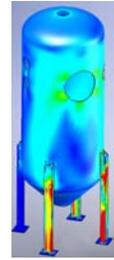
Ma pièce va-t-elle casser dans des conditions de chargements d'utilisation normales ?

La conception de ce modèle est-elle trop poussée ?

Ma conception peut-elle être modifiée pour améliorer le coefficient de sécurité ?

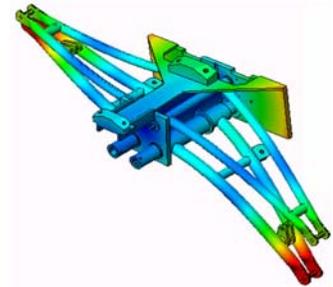


Les études de flambage analysent la performance des pièces minces chargées en compression. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :  
Les pieds de mon enceinte sont suffisamment résistants pour ne pas se plastifier et défailir, mais sont-ils assez résistants pour ne pas s'effondrer à cause d'une perte de stabilité ?



Ma conception peut-elle être modifiée pour assurer la stabilité des composants minces de mon assemblage ?

Les études fréquentielles proposent des outils d'analyse des modes et fréquences naturels. Une telle analyse est essentielle dans la conception ou dans de nombreux composants chargés à la fois de façon statique et dynamique. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :

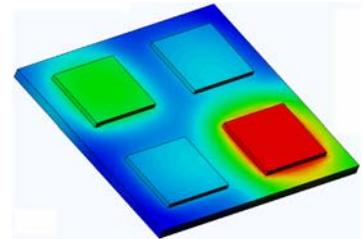


Ma pièce va-t-elle résonner dans des conditions de chargements d'utilisation normales ?

Les caractéristiques de fréquence des composants conviennent-elles à l'application donnée ?

Ma conception peut-elle être modifiée pour augmenter les caractéristiques de fréquence ?

Les études thermiques proposent des outils d'analyse du transfert thermique par l'intermédiaire de la conduction, de la convection et du rayonnement. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :



Les changements de température affecteront-ils mon modèle ?

Comment mon modèle fonctionne-t-il dans un environnement dont la température fluctue ?

Combien de temps faut-il pour que mon modèle se refroidisse ou surchauffe ?

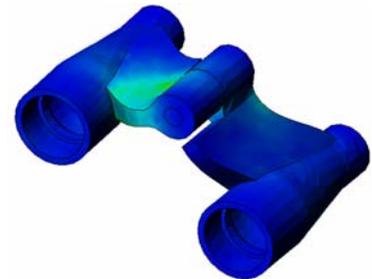
Le changement de température entraîne-t-il une expansion de mon modèle ?

Les contraintes créées par le changement de température entraîneront-elles la défaillance de mon produit ? (Pour répondre à cette question, on utilisera des études statiques conjointement à des études thermiques).

Les études de chute servent à analyser la contrainte créée par des pièces mobiles rencontrant un obstacle. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :

Que se passera-t-il si mon produit est manipulé sans précaution pendant le transport ou s'il tombe ?

Comment mon produit se comporte-t-il s'il tombe sur du parquet, de la moquette ou du béton ?



Les études d'optimisation sont appliquées pour améliorer (optimiser) votre conception initiale en fonction d'un ensemble de critères sélectionnés tels que, notamment, la contrainte maximale, le poids et la fréquence optimale. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :  
Puis-je changer la forme de mon modèle tout en conservant l'intention de conception ?



Ma conception peut-elle être rendue plus légère, plus petite ou moins chère sans compromettre la puissance de la performance ?

Les études de fatigue analysent la résistance des pièces et des assemblages chargés de façon répétée sur de longues périodes. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes : Est-il possible d'estimer avec précision la durée de vie de mon produit ?



Puis-je étendre la durée de vie du produit en modifiant ma conception actuelle ?

Mon modèle est-il sûr lorsqu'il subit des charges de force ou de température variables sur de longues périodes ?

Une nouvelle conception de mon modèle aidera-t-elle à réduire les dégâts provoqués par des forces ou une température variables ?

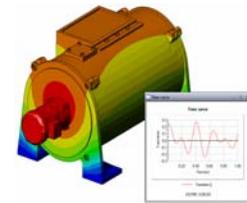
Les études non linéaires proposent des outils permettant d'analyser les contraintes dans des pièces et des assemblages subissant des chargements importants et/ou de grandes déformations. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :



Les pièces en caoutchouc (par exemple les joints toriques) ou en mousse réagiront-elles de façon satisfaisante sous une charge donnée ?

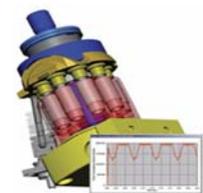
Mon modèle se plie-t-il excessivement dans des conditions d'utilisation normales ?

Les études dynamiques analysent les objets forcés par des charges variant avec le temps. Des exemples type sont les charges de choc de composants montés sur des véhicules, les turbines chargées par des forces oscillantes, les composants d'aviation chargés de façon aléatoire, etc. Les études linéaires (petites déformations structurelles, modèles créés avec un matériau de base) ainsi que les études non linéaires (grandes déformations structurelles, charges importantes et matériaux avancés) sont disponibles. Ce type d'étude répond aux questions type suivantes :



La conception de mes supports de moteur subissant des charges de choc quand mon véhicule rencontre un nid-de-poule sur la route est-elle sûre ? Quelle est l'importance de la déformation dans de telles circonstances ?

Motion Simulation permet à l'utilisateur d'analyser le comportement cinématique et dynamique des mécanismes. Les forces de liaison et inertielles peuvent ensuite être transférées dans des études SolidWorks Simulation pour poursuivre l'analyse de contraintes. Ce module répond aux questions type suivantes :



Quelle est la taille correcte du moteur ou de l'actionneur pour ma conception ?

La conception des mécanismes de transmission, vitesses ou verrous est-elle optimale ?

Quels sont les déplacements, vitesses et accélérations des composants du mécanisme ?

Le mécanisme est-il efficace ? Peut-il être amélioré ?

Le module Composites permet aux utilisateurs de simuler des structures fabriquées à partir de matériaux composites laminés.

Ce module répond aux questions type suivantes :

Le modèle composite défaille-t-il sous le chargement donné ?

Est-il possible d'alléger la structure en utilisant des matériaux composites sans compromettre la résistance et la sécurité ?

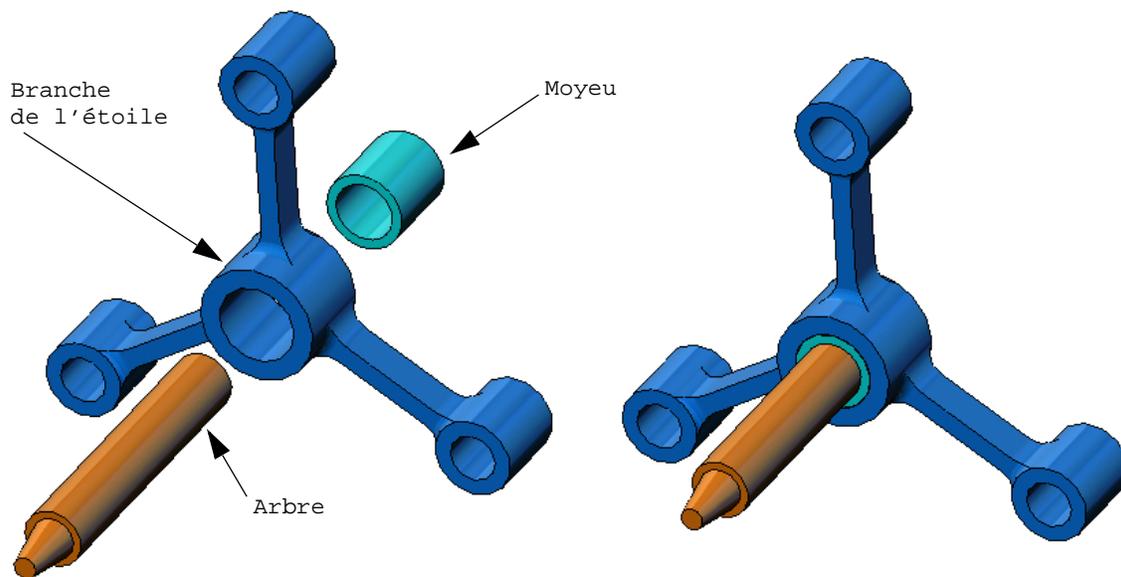


Les couches de mon matériau composite vont-elles se décoller ?

## Leçon 1 : Fonctionnalités de base de SolidWorks Simulation

---

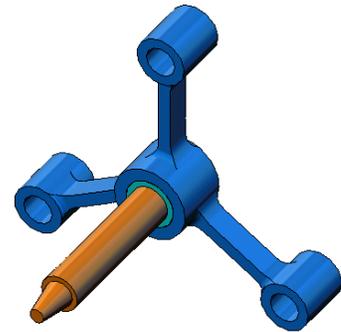
Après cette leçon, vous comprendrez les fonctionnalités de base de SolidWorks Simulation et pourrez effectuer une analyse statique sur l'assemblage suivant.



## Exercice d'apprentissage actif — Analyse statique

Utilisez SolidWorks Simulation pour effectuer l'analyse statique de l'assemblage Spider .SLDASM présenté à droite.

Les instructions pas à pas sont données ci-dessous.



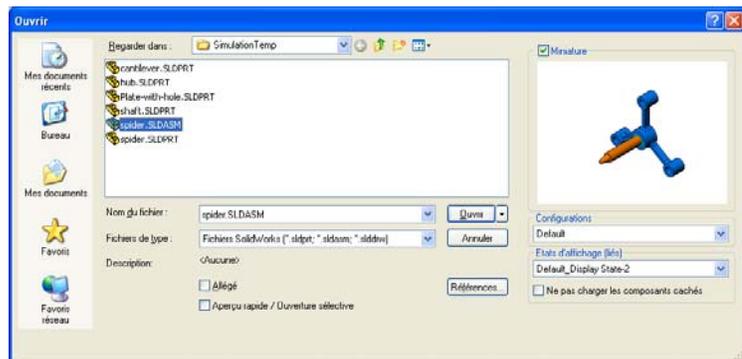
### Création d'un répertoire SimulationTemp

Nous vous recommandons d'enregistrer le dossier SolidWorks Simulation Education Examples dans un répertoire temporaire pour conserver l'original qui permettra de répéter l'exercice.

- 1 Créez un répertoire temporaire appelé SimulationTemp dans le dossier Exemples du répertoire d'installation SolidWorks Simulation.
- 2 Copiez le répertoire SolidWorks Simulation Education Examples dans le répertoire SimulationTemp.

### Ouverture du document Spider .SLDASM

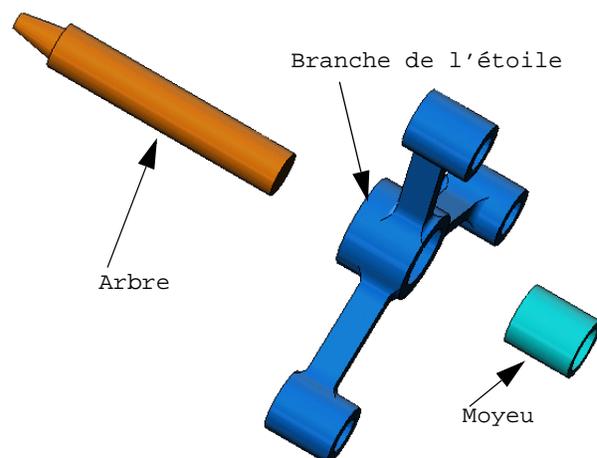
- 1 Cliquez sur **Ouvrir**  sur la barre d'outils Standard. La boîte de dialogue **Ouvrir** apparaît.
- 2 Naviguez dans les répertoires jusqu'au dossier SimulationTemp du répertoire d'installation de SolidWorks Simulation.



- 3 Sélectionnez Spider .SLDASM.
- 4 Cliquez sur **Ouvrir**.

L'assemblage spider.SLDASM s'ouvre.

L'assemblage de l'étoile comprend trois composants : l'arbre, le moyeu et la branche de l'étoile. La figure ci-dessous présente les composants de l'assemblage dans une vue éclatée.



## Vérification du menu SolidWorks Simulation

Si SolidWorks Simulation est installé correctement, le menu SolidWorks Simulation apparaît sur la barre de menus de SolidWorks. Si ce n'est pas le cas :

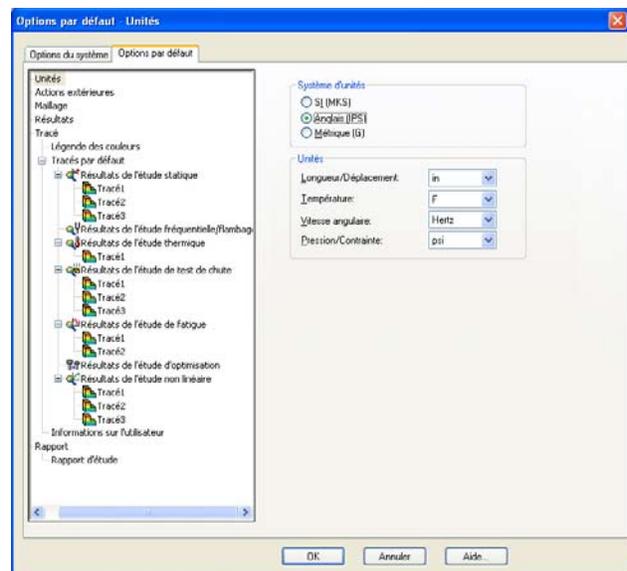


- 1 Cliquez sur **Outils, Compléments**.  
La boîte de dialogue **Compléments** apparaît.
- 2 Cochez les cases placées à côté de SolidWorks Simulation.  
Si SolidWorks Simulation ne se trouve pas dans la liste, vous devez l'installer.
- 3 Cliquer sur **OK**.  
Le menu Simulation apparaît dans la barre de menus de SolidWorks.

## Définition des unités d'analyse

Avant de démarrer cette leçon, nous allons définir les unités d'analyse.

- 1 Dans la barre de menus de SolidWorks, cliquez sur **Simulation, Options**.
- 2 Cliquez sur l'onglet **Options par défaut**.
- 3 Sélectionnez **Anglais (IPS)** sous **Système d'unités**.
- 4 Sélectionnez **in** (pouce) et **psi** dans les champs **Longueur/déplacement** et **Pression/contrainte**.
- 5 Cliquez sur **OK**.



## Etape 1 : Création d'une étude

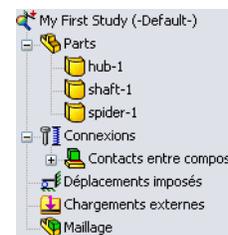
La première étape de l'analyse est de créer une étude.

- 1 Cliquez sur **Simulation, Etude** dans le menu principal de SolidWorks, en haut de l'écran.

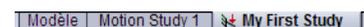
Le PropertyManager **Etude** apparaît.

- 2 Sous **Nom**, tapez **Ma première étude**.
- 3 Sous **Type**, sélectionnez **Statique**.
- 4 Cliquez sur **OK**.

SolidWorks Simulation crée un arbre d'études de Simulation sous l'arbre de création FeatureManager.



Un onglet est également créé au bas de la fenêtre ; il vous permet de vous déplacer entre plusieurs études et votre modèle.



## Etape 2 : Affectation du matériau

Tous les composants de l'assemblage sont en acier allié.

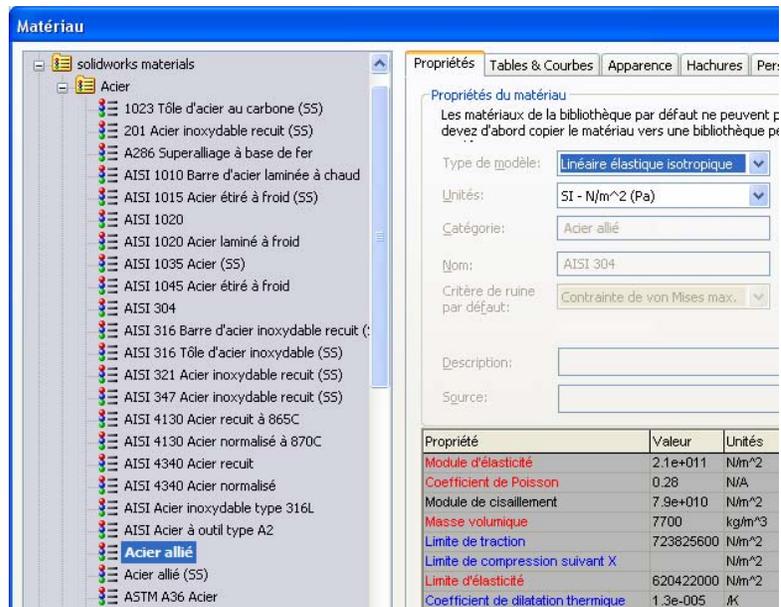
### Affectation de l'acier allié à tous les composants

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Pièces** et cliquez sur **Appliquer le matériau à tout**.

La boîte de dialogue **Matériau** apparaît.

- 2 Procédez comme suit :

- a) Développez le dossier de la bibliothèque **Matériaux SolidWorks**.
- b) Développez la catégorie **Acier**.
- c) Sélectionnez **Acier allié**.



**Remarque :** Les propriétés physiques et mécaniques de l'acier allié apparaissent dans le tableau à droite.

- 3 Cliquer sur **Appliquer**.
- 4 Fermez la fenêtre **Matériaux**.

L'acier allié est affecté à tous les composants et une coche apparaît sur l'icône de chaque composant. Remarquez que le nom du matériau affecté apparaît près du nom du composant.



## Etape 3 : Application de déplacements imposés

Nous allons fixer les trois trous.

- 1 Utilisez les touches **fléchées** pour faire pivoter l'assemblage comme indiqué sur la figure.
- 2 Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Déplacements imposés** puis cliquez sur **Géométrie fixe**.

Le PropertyManager **Déplacement imposé** s'affiche.

- 3 Assurez-vous que le **Type** défini est **Géométrie fixe**.
- 4 Dans la zone graphique, cliquez sur les faces des trois trous comme illustré sur la figure.

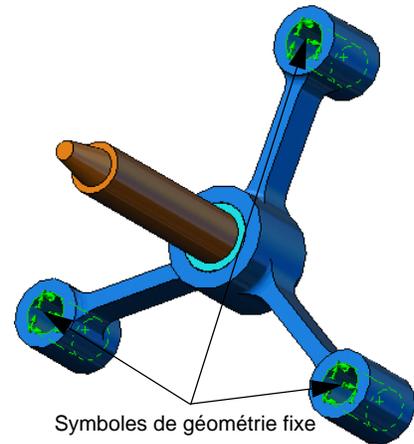
Face<1>, Face<2>, et Face<3> apparaissent dans la boîte **Faces, arêtes, sommets pour le déplacement imposé**.



- 5 Cliquez sur .

Le déplacement imposé fixe est appliqué et son symbole apparaît sur les faces sélectionnées.

De plus, un élément Déplacement imposé-1 apparaît dans le dossier Déplacements imposés de l'arbre d'études Simulation. Vous pouvez modifier à tout moment le nom du déplacement imposé.



#### Etape 4 : Application des chargements

Nous allons appliquer une charge de 500 lb normale à la face indiquée sur la figure.

- 1 Cliquez sur l'icône **Zoom fenêtre**  en haut de la zone graphique et faites un zoom sur la partie conique de l'arbre.

- 2 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Forces externes**, puis cliquez sur **Force**.

Le PropertyManager **Force/Couple** apparaît.

- 3 Dans la zone graphique, cliquez sur la face représentée sur la figure.

Face<1> apparaît dans la boîte de liste **Faces et arêtes de coque pour la force normale**.

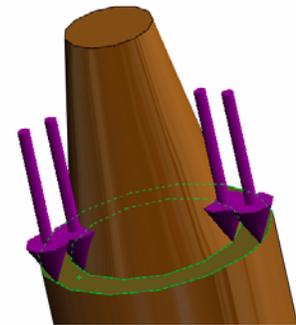
- 4 Assurez-vous l'option **Normal** est sélectionnée comme direction.

- 5 Vérifiez que les **Unités** sont définies en **Anglais (IPS)**.

- 6 Dans la case **Valeur de la force** , tapez **500**.

- 7 Cliquez sur .

SolidWorks Simulation applique la force à la face sélectionnée et un élément Force-1 apparaît dans le dossier Forces externes.



#### Pour masquer les symboles de déplacements imposés et de charges

Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Déplacements imposés ou le dossier Forces externes et cliquez sur **Cacher tout**.

## Etape 5 : Maillage de l'assemblage

Le maillage divise votre modèle en plus petits éléments. En fonction des dimensions géométriques du modèle, SolidWorks Simulation suggère une taille d'élément par défaut (dans ce cas, 0,179707 pouce) que vous pouvez changer selon vos besoins.

- 1 Dans l'arbre d'études Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône Maillage et cliquez sur **Créer le maillage**.

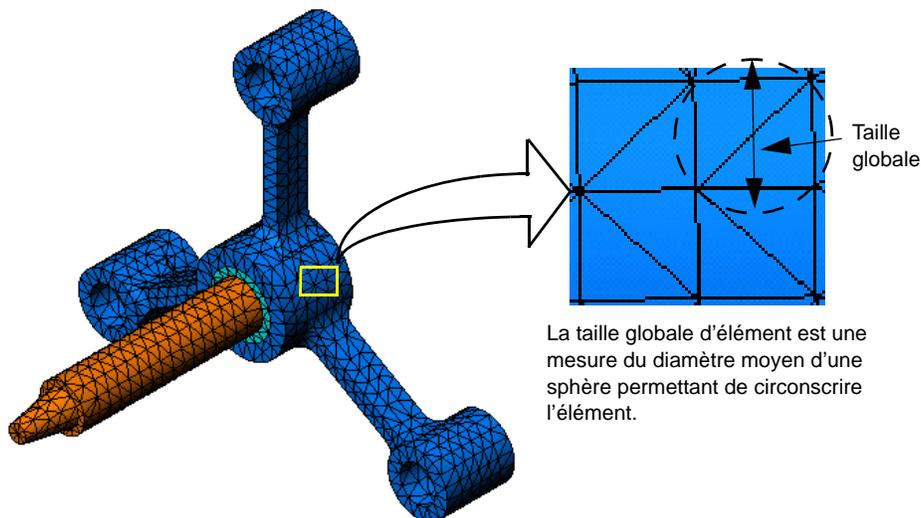
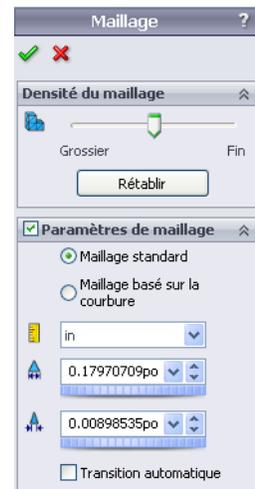
Le PropertyManager **Maillage** apparaît.

- 2 Développez **Paramètres de maillage** en cochant la case.

Vérifiez que **Maillage standard** est sélectionné et que **Transition automatique** n'est pas cochée.

Gardez pour **Taille globale**  et **Tolérance**  les valeurs par défaut suggérées par le programme.

- 3 Cliquez sur **OK** pour lancer le maillage.



La taille globale d'élément est une mesure du diamètre moyen d'une sphère permettant de circonscrire l'élément.

## Etape 6 : Exécution de l'analyse

Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône Ma première étude et cliquez sur **Exécuter** pour démarrer l'analyse.

Quand l'analyse est terminée, SolidWorks Simulation crée automatiquement les tracés de résultats par défaut dans le dossier Résultats.

## Etape 7 : Visualisation des résultats

### Contrainte de von Mises

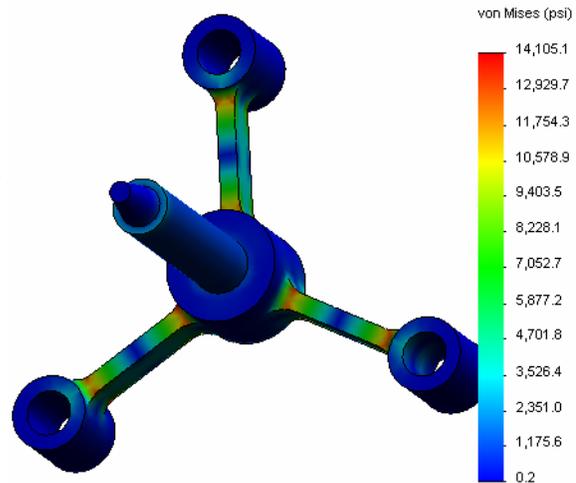
- 1 Cliquez sur le signe plus (+)  adjacent au dossier Résultats.

Toutes les icônes de tracés par défaut apparaissent.

---

**Remarque :** Si aucun tracé n'apparaît, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Résultats et sélectionnez **Définir un tracé de contraintes**. Définissez les options appropriées dans le PropertyManager et cliquez sur .

---



- 2 Double-cliquez sur Constraint1 (-vonMises-) pour afficher le tracé des contraintes.

---

**Remarque :** Pour montrer l'annotation indiquant les valeurs minimales et maximales du tracé, double-cliquez sur la légende et cochez les cases **Montrer annotation min** et **Montrer annotation max**. Cliquez ensuite sur .

---

### Animation du tracé

- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur Constraint1 (-vonMises-) et cliquez sur **Animer**.

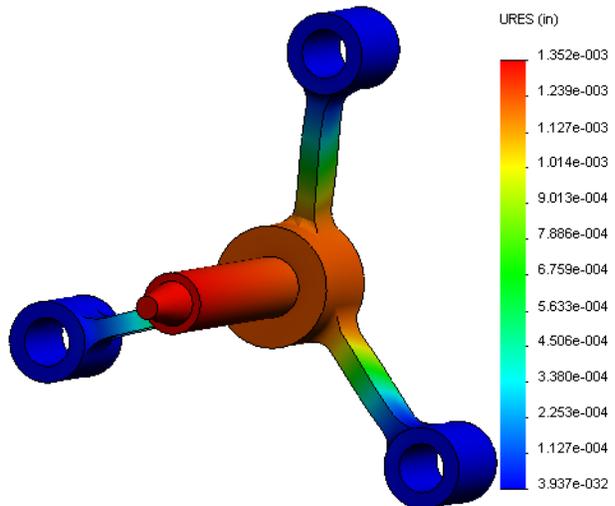
Le PropertyManager **Animation** apparaît et l'animation démarre automatiquement.

- 2 Arrêtez l'animation en cliquant sur le bouton **Arrêter** . Vous devez arrêter l'animation pour enregistrer le fichier AVI sur le disque.
- 3 Cliquez sur **Enregistrer au format AVI**, puis cliquez sur  pour parcourir et sélectionnez un dossier de destination pour enregistrer le fichier AVI.
- 4 Cliquez sur  pour **jouer** l'animation. L'animation est jouée dans la zone graphique.
- 5 Cliquez sur  pour **arrêter** l'animation.
- 6 Cliquez sur  pour fermer le PropertyManager **Animation**.



## Visualisation des déplacements résultants

- 1 Double-cliquez sur l'icône Déplacement1 (-Dépl. résultant-) pour afficher le tracé de déplacement résultant.



## La conception est-elle sûre ?

L'assistant **Coefficient de sécurité** peut vous aider à répondre à cette question. Nous allons utiliser l'assistant pour estimer le facteur de sécurité de tout point dans le modèle. Pour cette procédure, vous devez sélectionner un critère de défaillance.

- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Résultats et sélectionnez **Définir un tracé de coefficient de sécurité**.

Le PropertyManager Etape 1 sur 3 de l'assistant **Coefficient de sécurité** apparaît.

- 2 Dans la rubrique **Critère** , cliquez sur **Contrainte de von Mises maximale**.

---

**Remarque :** Plusieurs critères de limite d'élasticité sont disponibles. Le critère de Von Mises permet le plus souvent de contrôler la défaillance des matériaux ductiles.

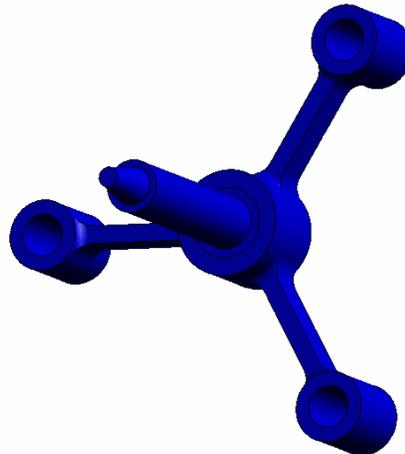
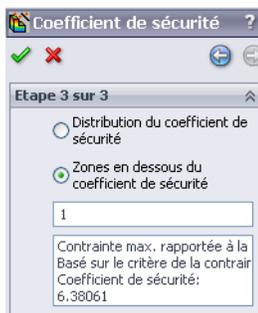
---



- 3 Cliquez sur  **Suivant**.  
L'assistant Coefficient de sécurité  
**Etape 2 sur 3** PropertyManager apparaît.
- 4 Définissez les **Unités**  sur **psi**.
- 5 Sous **Contrainte limite**, sélectionnez **Limite d'élasticité**.

**Remarque :** Après la limite d'élasticité, le matériau poursuit sa déformation plastique plus rapidement. Dans un cas extrême, il peut continuer à se déformer même sans augmentation de la charge.

- 6 Cliquez sur  **Suivant**.  
L'assistant Coefficient de sécurité **Etape 3 sur 3** PropertyManager apparaît.
- 7 Sélectionnez **Zones en dessous du coefficient de sécurité** et entrez **1**.
- 8 Cliquez sur  pour créer le tracé.



Inspectez le modèle pour rechercher les zones non sûres en rouge. Vous pouvez remarquer que le tracé n'a rien en couleur rouge, ce qui signifie que tous les points sont sûrs.

### Quel est le degré de sécurité de la conception ?

- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Résultats** et sélectionnez **Définir un tracé de coefficient de sécurité**.

L'assistant Coefficient de sécurité **Etape 1 sur 3** PropertyManager apparaît.

- 2 Dans la liste **Critère**, sélectionnez **Contrainte de von Mises max**.

- 3 Cliquez sur **Suivant**.

L'assistant Coefficient de sécurité **Etape 2 sur 3** PropertyManager apparaît.

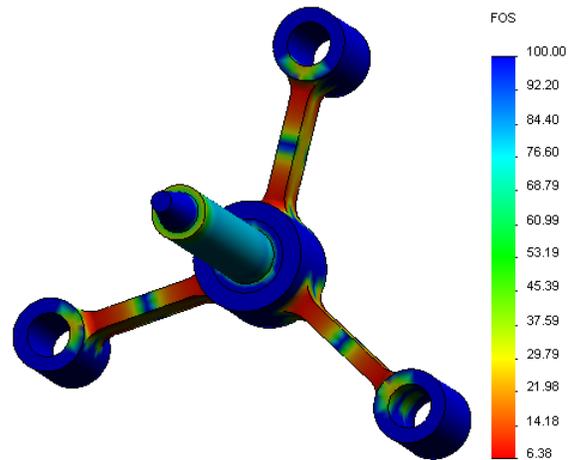
- 4 Cliquez sur **Suivant**.

L'assistant Coefficient de sécurité **Etape 3 sur 3** PropertyManager apparaît.

- 5 Sous **Tracé des résultats**, cliquez sur **Distribution du coefficient de sécurité**.

- 6 Cliquez sur .

Le tracé généré indique la distribution du coefficient de sécurité. Le plus petit coefficient de sécurité est d'environ 6,4.



---

**Remarque :** Un coefficient de sécurité de 1,0 à un emplacement signifie que le matériau est juste à la limite élastique. Un coefficient de 2,0 signifie par exemple que la conception est sûre à cet emplacement et que le matériau atteindra sa limite élastique en doublant les charges.

---

### Enregistrement de tous les tracés générés

- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône **Ma première étude** et cliquez sur **Enregistrer tous les tracés au format JPEG**.

La boîte de dialogue **Rechercher au dossier** s'affiche.

- 2 Parcourez les dossiers jusqu'au répertoire où vous souhaitez enregistrer tous les tracés de résultats.
- 3 Cliquez sur **OK**.

## Génération d'un rapport d'étude

L'utilitaire **Rapport** permet de documenter rapidement et systématiquement votre travail pour chaque étude. Le programme génère des rapports structurés prêts pour l'Internet (fichiers HTML) et des documents Word décrivant tous les aspects de l'étude.

- 1 Cliquez sur **Simulation, Rapport** dans le menu principal de SolidWorks, en haut de l'écran.

La boîte de dialogue **Options de rapport** apparaît.

La section **Paramètres de format du rapport** vous permet de sélectionner un style de rapport et de choisir les sections à inclure dans le rapport généré. Vous pouvez exclure certaines des sections en les déplaçant du champ **Sections incluses** dans le champ **Sections disponibles**.

- 2 Vous pouvez personnaliser toutes les sections de rapport. Par exemple, sélectionnez la section **Page de couverture** sous **Sections incluses** et remplissez les champs **Nom**, **Logo**, **Auteur** et **Société**.

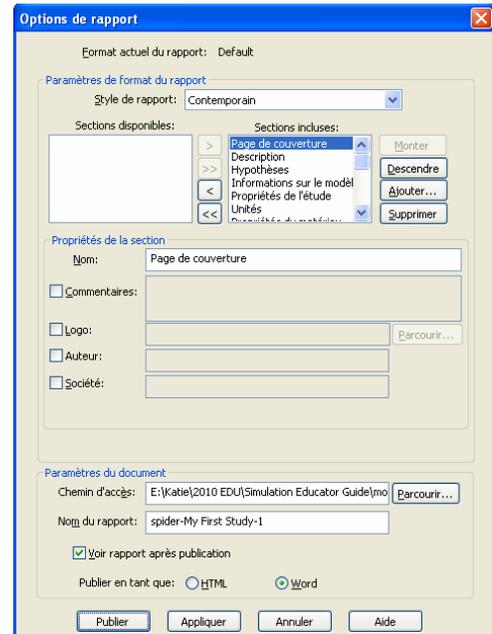
Les formats acceptables pour les fichiers de logo sont **Fichiers JPEG (\*.jpg)**, **Fichiers GIF (\*.gif)** ou **Fichiers Bitmap (\*.bmp)**.

- 3 Sélectionnez **Conclusion** dans la liste **Sections incluses** et entrez une conclusion de votre étude dans la case **Commentaires**.
- 4 Cochez la case **Voir rapport après publication** et l'option **Word**.
- 5 Cliquez sur **Publier**.

Le rapport s'ouvre dans votre document Word.

Le programme crée aussi une icône  dans le dossier Rapport de l'arbre SolidWorks Simulation Manager.

Pour modifier une section quelconque du rapport, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône de rapport et cliquez sur **Modifier la définition**. Modifiez la section avant de cliquer sur **OK** pour remplacer le rapport existant.



## Etape 8 : Enregistrement de votre travail et sortie de SolidWorks

- 1 Cliquez sur  dans la barre d'outils **Standard** ou cliquez sur **Fichier, Enregistrer**.
- 2 Cliquez sur **Fichier, Quitter** dans le menu principal.

## Evaluation de 5 minutes

---

1 Comment démarrer une session SolidWorks Simulation ?

---

---

2 Que faire si le menu SolidWorks Simulation ne se trouve pas sur la barre de menus de SolidWorks ?

---

---

3 Quels types de documents SolidWorks Simulation peut-il analyser ? \_\_\_\_\_

---

---

4 Pourquoi l'analyse est-elle importante ? \_\_\_\_\_

---

---

5 Pourquoi l'analyse est-elle importante ? \_\_\_\_\_

---

---

6 Qu'est-ce qu'une étude d'analyse ? \_\_\_\_\_

---

---

7 Quels types d'analyse pouvez-vous effectuer dans SolidWorks Simulation ? \_\_\_\_\_

---

---

8 Que calcule l'analyse statique ? \_\_\_\_\_

---

---

9 Qu'est-ce qu'une contrainte ? \_\_\_\_\_

---

---

10 Quelles sont les étapes principales de l'accomplissement d'une analyse ? \_\_\_\_\_

---

---

11 Comment peut-on modifier le matériau d'une pièce ? \_\_\_\_\_

---

---

12 L'assistance pour le contrôle de conception indique un coefficient de sécurité de 0,8 à certains emplacements. Votre conception est-elle sûre ? \_\_\_\_\_

---

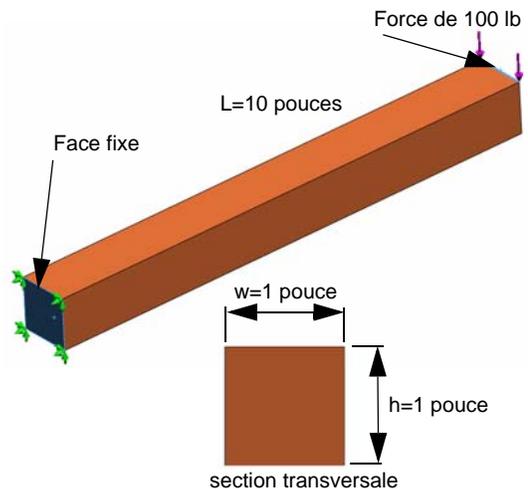
---

## Projets – Déflexion d'une poutre sous l'effet d'une force à l'extrémité

Certains problèmes simples ont des réponses exactes. Un de ces problèmes est une poutre chargée par une force à son extrémité comme indiqué sur la figure. Nous allons utiliser SolidWorks Simulation pour résoudre ce problème et comparer ses résultats à la solution exacte.

### Tâches

- 1 Ouvrez le fichier `Front_Cantilever.sldprt` dans le dossier Exemples du répertoire d'installation de SolidWorks Simulation.
- 2 Mesurez la largeur, la hauteur et la longueur du levier.
- 3 Enregistrez la pièce sous un autre nom.
- 4 Créez une étude **Statique**.
- 5 Affectez le matériau **Acier allié** à la pièce. Quelle est la valeur du module élastique en psi ?



- Réponse :** \_\_\_\_\_
- 6 Fixez une des faces d'extrémité du levier.
  - 7 Appliquez une force vers le bas au bord supérieur de l'autre extrémité avec une amplitude de **100 lb**.
  - 8 Maillez la pièce et exécutez l'analyse.
  - 9 Tracez le déplacement dans la direction Y. Quel est le déplacement Y maximal à l'extrémité libre du levier ?
- Réponse :** \_\_\_\_\_
- 10 Calculez le déplacement vertical théorique à l'extrémité libre par la formule suivante :

$$UY_{Theory} = \frac{4FL^3}{Ewh^3}$$

où  $F$  est la force,  $L$  la longueur de la poutre,  $E$  le module d'élasticité,  $w$  et  $h$  respectivement la largeur et la hauteur de la poutre.

**Réponse :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

- 11 Calculez l'erreur de déplacement vertical par la formule suivante :

$$ErrorPercentage = \left( \frac{UY_{Theory} - UY_{COSMOS}}{UY_{Theory}} \right) 100$$

**Réponse :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## Leçon 1 Feuille de vocabulaire

---

Nom : \_\_\_\_\_ Classe : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

*Remplissez les blancs avec les mots appropriés.*

- 1 La séquence de création d'un modèle dans SolidWorks, de fabrication d'un prototype et de test de celui-ci : \_\_\_\_\_
- 2 Un scénario *d'hypothèse* de type d'analyse, de matériaux, de déplacements imposés et de charges : \_\_\_\_\_
- 3 Méthode utilisée par SolidWorks Simulation pour effectuer l'analyse : \_\_\_\_\_
- 4 Type d'étude calculant les déplacements, déformations et contraintes : \_\_\_\_\_
- 5 Procédure de division du modèle en petits éléments : \_\_\_\_\_
- 6 Petits morceaux de forme simple créés durant le maillage : \_\_\_\_\_
- 7 Les éléments partagent des points communs appelés : \_\_\_\_\_
- 8 La force agissant sur une surface divisée par cette surface : \_\_\_\_\_
- 9 L'effondrement soudain de modèles minces suite à des charges de compression axiales : \_\_\_\_\_
- 10 Etude calculant la température atteinte par des modèles : \_\_\_\_\_
- 11 Nombre donnant une description générale de l'état de contrainte : \_\_\_\_\_
- 12 Contraintes normales sur des plans où les contraintes de cisaillement disparaissent : \_\_\_\_\_
- 13 Fréquences auxquelles un corps tend à vibrer : \_\_\_\_\_
- 14 Type d'analyse pouvant vous aider à éviter les résonances : \_\_\_\_\_

## Questionnaire Leçon 1

---

Nom : \_\_\_\_\_ Classe : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

*Instructions : Répondez à chaque question en écrivant la ou les réponses correctes dans l'espace prévu.*

- 1 Vous essayez vos conceptions en créant une étude. Qu'est-ce qu'une étude ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 2 Quels types d'analyse pouvez-vous effectuer dans SolidWorks Simulation ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 3 Après obtention des résultats d'une étude, vous avez modifié le matériau, les charges ou les déplacements imposés. Faut-il refaire le maillage ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4 Après le maillage d'une étude, vous avez modifié la géométrie. Faut-il refaire le maillage du modèle ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 5 Comment créer une étude statique ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6 Qu'est-ce qu'un maillage ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7 Dans un assemblage, combien d'icônes doit-on voir dans le dossier Solides ? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

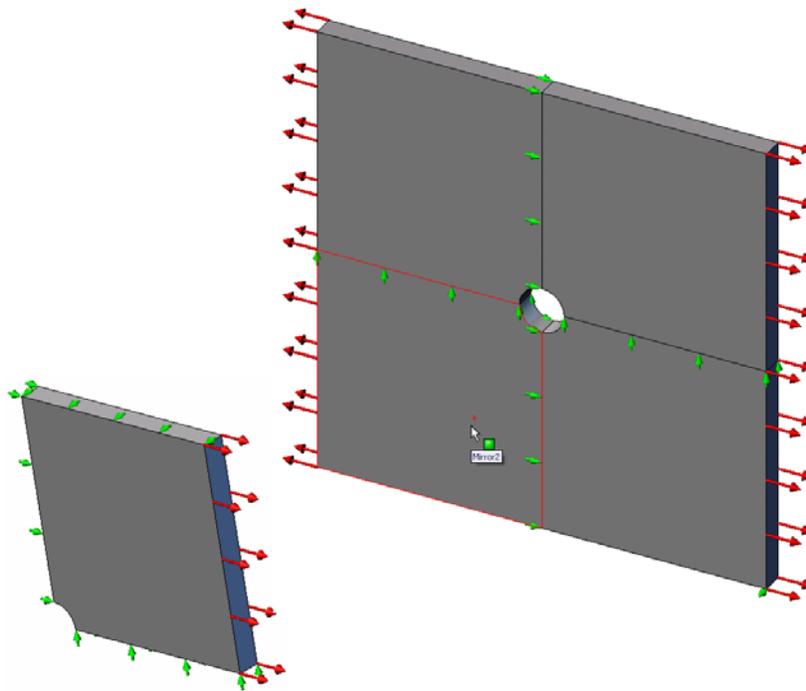


## 2

## Leçon 2 : Méthodes adaptatives dans SolidWorks Simulation

---

Après cette leçon, vous pourrez (a) utiliser des méthodes adaptatives pour améliorer l'exactitude des résultats et (b) appliquer des déplacements imposés de symétrie pour analyser un quart de votre modèle d'origine.



Vous allez calculer les contraintes d'une plaque carrée de 20 po x 20 po x 1 po comportant un trou de rayon de 1 po au centre. La plaque est soumise à une pression en traction de 100 psi.

Vous allez comparer la concentration des contraintes sur le trou avec des résultats théoriques connus.

## Exercice d'apprentissage actif — Partie 1

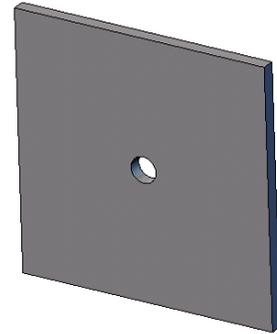
---

Utilisez SolidWorks Simulation pour effectuer l'analyse statique sur la pièce `Plate-with-hole.SLDPRT` (Plaque à trou) présentée à droite.

Vous allez calculer les contraintes d'une plaque carrée de 20 po x 20 po x 1 po comportant un trou de rayon de 1 po au centre. La plaque est soumise à une pression en traction de 100 psi.

Vous allez comparer la concentration des contraintes sur le trou avec des résultats théoriques connus.

Les instructions pas à pas sont données ci-dessous.



### Création d'un répertoire `SimulationTemp`

Nous vous recommandons d'enregistrer le dossier `SolidWorks Simulation Education Examples` dans un répertoire temporaire pour conserver l'original qui permettra de répéter l'exercice.

- 1 Créez un répertoire temporaire appelé `SimulationTemp` dans le dossier `Exemples du répertoire d'installation SolidWorks Simulation`.
- 2 Copiez le répertoire `SolidWorks Simulation Education Examples` dans le répertoire `SimulationTemp`.

### Ouverture du document `Plate-with-hole.SLDPRT`

- 1 Cliquez sur **Ouvrir**  sur la barre d'outils Standard. La boîte de dialogue **Ouvrir** apparaît.
- 2 Naviguez dans les répertoires jusqu'au dossier `SimulationTemp` du répertoire d'installation de `SolidWorks Simulation`.
- 3 Sélectionnez `Plate-with-hole.SLDPRT`.
- 4 Cliquez sur **Ouvrir**.

La pièce `Plate-with-hole.SLDPRT` s'ouvre.

Remarquez que la pièce comporte deux configurations : (a) `Quarter plate` (Quart de plaque) et (b) `Whole plate` (Plaque entière). Vérifiez que la configuration `Whole plate` est active.

---

**Remarque:** Les configurations du document sont mentionnées dans l'onglet `ConfigurationManager`  en haut du volet de gauche.

---

## Vérification du menu SolidWorks Simulation

Si SolidWorks Simulation est installé comme complément, le menu SolidWorks Simulation apparaît sur la barre de menus de SolidWorks.



Menu SolidWorks Simulation

Si ce n'est pas le cas :

- 1 Cliquez sur **Outils, Compléments**.

La boîte de dialogue **Compléments** apparaît.

- 2 Cochez les cases placées à côté de SolidWorks Simulation.

Si SolidWorks Simulation ne se trouve pas dans la liste, vous devez l'installer.

- 3 Cliquez sur **OK**.

Le menu SolidWorks Simulation apparaît dans la barre de menus de SolidWorks.

## Définition des unités d'analyse

Avant de démarrer cette leçon, nous allons définir les unités d'analyse.

- 1 Cliquez sur **Simulation, Options**.
- 2 Cliquez sur l'onglet **Options par défaut**.
- 3 Sélectionnez **Anglais (IPS)** dans **Système d'unités** et **po** et **psi** comme unités respectives pour la longueur et les contraintes.
- 4 Cliquez sur .

## Etape 1 : Création d'une étude

La première étape de l'analyse est de créer une étude.

- 1 Cliquez sur **Simulation, Etude** dans le menu principal de SolidWorks, en haut de l'écran.

Le PropertyManager **Etude** apparaît.

- 2 Sous **Nom**, tapez `Whole plate`.
- 3 Sous **Type**, sélectionnez **Statique**.
- 4 Cliquez sur .

SolidWorks Simulation crée un arbre d'études de Simulation sous l'arbre de création FeatureManager.

## Etape 2 : Affectation du matériau

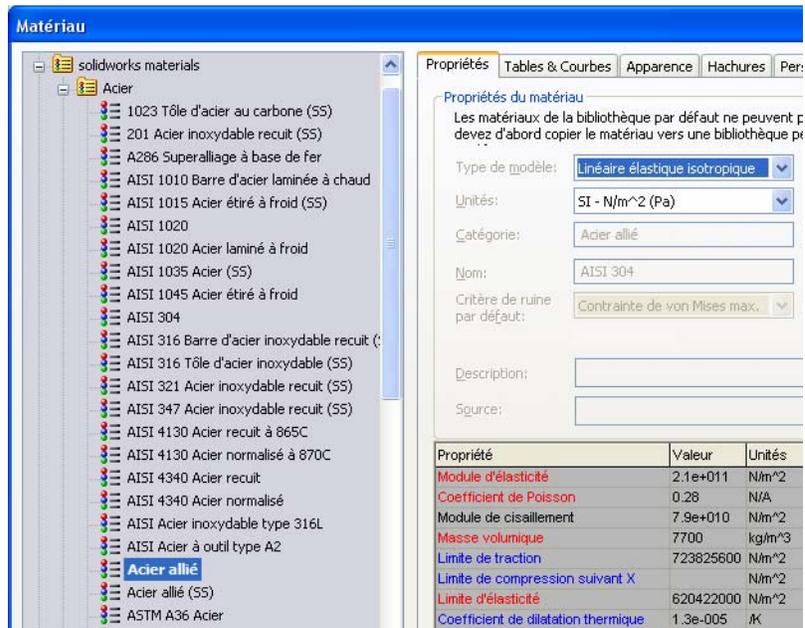
### Affectation de l'acier allié

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Plate-with-hole et cliquez sur **Appliquer le matériau à tous les corps**.

La boîte de dialogue **Matériau** apparaît.

- 2 Procédez comme suit :

- a) Développez le dossier de la bibliothèque Matériaux SolidWorks.
- b) Développez la catégorie Acier.
- c) Sélectionnez **Acier allié**.



**Remarque:** Les propriétés physiques et mécaniques de l'acier allié apparaissent dans le tableau à droite.

- 3 Cliquez sur **OK**.

## Etape 3 : Application de déplacements imposés

Vous pouvez appliquer des déplacements imposés pour empêcher la rotation hors du plan comme les déplacements libres du corps.

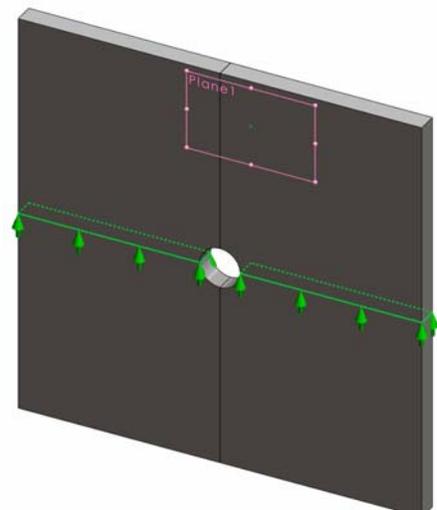
- 1 Appuyez sur espace pour sélectionner **\*Trimétrique** sur le menu **Orientation**.

L'orientation du modèle est présentée comme sur la figure.

- 2 Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Déplacements imposés** puis cliquez sur **Déplacements imposés avancés**.

Le PropertyManager **Déplacement imposé** s'affiche.

- 3 Vérifiez que **Type** est défini comme **Utiliser une géométrie de référence**.

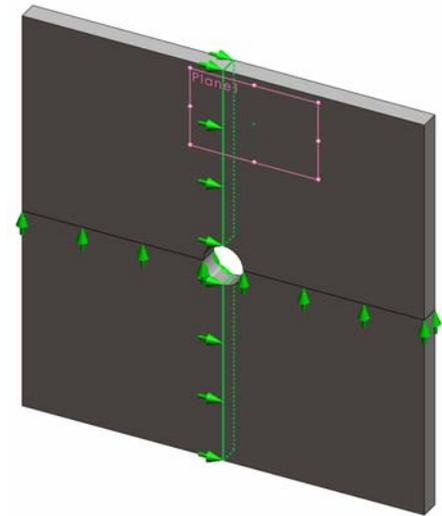


- 4 Dans la zone graphique, sélectionnez les 8 arêtes indiquées sur la figure.  
Arête<1> à Arête<8> apparaissent dans la case **Faces, arêtes, sommets pour les déplacements imposés**.
- 5 Cliquez à l'intérieur de la case **Face, arête, plan, axe de direction**, puis sélectionnez le Plan1 dans l'arbre de création FeatureManager mobile.
- 6 Sous **Translations**, sélectionnez **Le long du plan selon dir2** .
- 7 Cliquez sur .

Les déplacements imposés sont appliqués et leurs symboles apparaissent sur les arêtes sélectionnées.

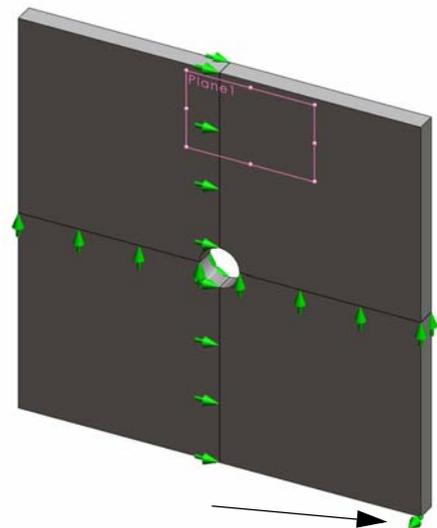
Une icône de déplacement imposé  (Déplacement imposé-1) apparaît dans le dossier Déplacements imposés.

De même, suivez les étapes 2 à 7 pour appliquer des déplacements imposés à l'ensemble vertical d'arêtes indiqué sur la figure de façon à limiter le déplacement des 8 arêtes **Le long du plan selon dir1**  de Plan1.



Pour éviter le déplacement du modèle dans la direction globale Z, vous devez définir un déplacement imposé au sommet indiqué sur la figure ci-dessous.

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Déplacements imposés puis cliquez sur **Déplacements imposés avancés**.  
Le PropertyManager **Déplacement imposé** s'affiche.
- 2 Vérifiez que **Type** est défini comme **Utiliser une géométrie de référence**.
- 3 Dans la zone graphique, cliquez sur le sommet représenté sur la figure.  
Sommet<1> apparaît dans la case **Faces, arêtes, sommets pour le déplacement imposé**.

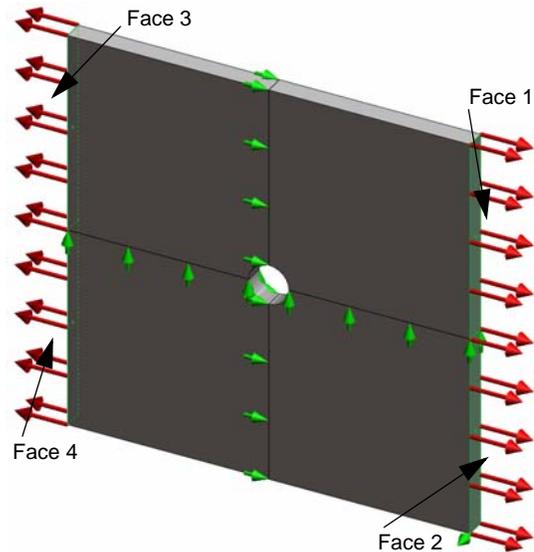


- 4 Cliquez à l'intérieur de la case **Face, arête, plan, axe de direction**, puis sélectionnez le Plan1 dans l'arbre de création FeatureManager mobile.
- 5 Sous **Translations**, sélectionnez **Normal au plan** .
- 6 Cliquez sur .

#### Etape 4 : Application d'une pression

Vous appliquez une pression de 100 psi normale aux faces, comme indiqué sur la figure.

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Forces externes, puis cliquez sur **Pression**. Le PropertyManager **Pression** apparaît.
- 2 Sous **Type**, cliquez sur **Normal à la face sélectionnée**.
- 3 Dans la zone graphique, sélectionnez les quatre faces indiquées sur la figure. Face<1> à Face<4> apparaissent dans la boîte de liste **Faces pour la pression**.
- 4 Vérifiez que les **Unités** sont définies en **Anglais (psi)**.
- 5 Dans la case **Valeur de la pression** , tapez **100**.
- 6 Cochez la case **Inverser la direction**.
- 7 Cliquez sur .



SolidWorks Simulation applique la pression normale à la face sélectionnée et l'icône **Pression-1**  apparaît dans le dossier Forces externes.

#### Pour masquer les symboles de déplacements imposés et de charges

Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Déplacements imposés ou le dossier Forces externes et cliquez sur **Cacher tout**.

#### Etape 5 : Maillage du modèle et exécution de l'étude

Le maillage divise votre modèle en plus petits éléments. En fonction des dimensions géométriques du modèle, SolidWorks Simulation suggère une taille d'élément par défaut que vous pouvez changer selon vos besoins.

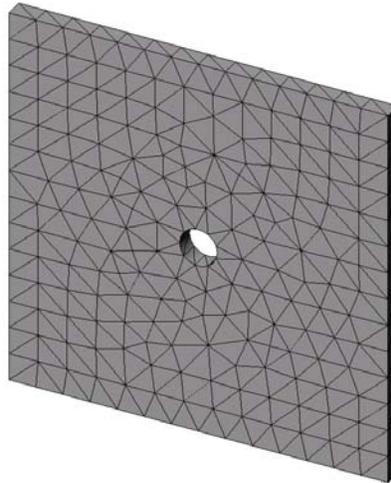
- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône Maillage et cliquez sur **Créer le maillage**. Le PropertyManager **Maillage** apparaît.
- 2 Développez **Paramètres de maillage** en cochant la case. Vérifiez que **Maillage standard** est sélectionné et que **Transition automatique** n'est pas cochée.

- 3 Tapez **1,5** (pouces) pour **Taille globale**  et acceptez la **Tolérance**  suggérée par le programme.
- 4 Cochez la case **Exécuter (résoudre) l'analyse** sous **Options** et cliquez sur .

---

**Remarque :** Pour voir le tracé de maillage, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Maillage** et sélectionnez **Montrer**.

---



## Etape 6 : Visualisation des résultats

### Contrainte normale dans la direction X globale.

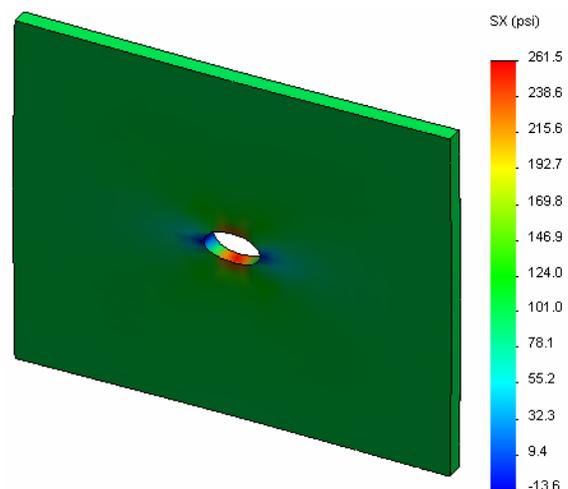
- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Résultats**  et sélectionnez **Définir un tracé des contraintes**.

Le PropertyManager **Tracé des contraintes** s'affiche.

- 2 Sous **Tracé**
  - a) Sélectionnez **SX : Contrainte normale X** dans le champ **Composant**.
  - b) Sélectionnez **psi** dans **Unités**.
- 3 Cliquez sur .

La contrainte normale dans le tracé de direction X apparaît.

Remarquez la concentration des contraintes dans la zone autour du trou.



### Etape 7 : Vérification des résultats

La contrainte normale maximale  $\sigma_{\max}$  pour une plaque de section transversale rectangulaire comportant un trou circulaire est donnée par :

$$\sigma_{max} = k \cdot \left( \frac{P}{t(D-2r)} \right) \qquad k = 3.0 - 3.13 \left( \frac{2r}{D} \right) + 3.66 \left( \frac{2r}{D} \right)^2 - 1.53 \left( \frac{2r}{D} \right)^3$$

où :

D = largeur de la plaque = 20 po

r = rayon du trou = 1 po

t = épaisseur de la plaque = 1 po

P = Force axiale en traction = Pression \* (D \* t)

La valeur analytique de contrainte normale maximale est  $\sigma_{\max} = 302,452$  psi

Le résultat SolidWorks Simulation, sans utiliser de méthode adaptative, est SX = 253,6 psi.

Ce résultat diffère de la solution théorique d'environ 16,1 %. Vous allez bientôt constater que cet écart important est imputable à la grossièreté du maillage.

## Exercice d'apprentissage actif — Partie 2

Dans la deuxième partie de l'exercice vous allez modéliser un quart de la plaque à l'aide des déplacements imposés de symétrie.

**Remarque :** Les déplacements imposés de symétrie permettent d'analyser une partie du modèle uniquement. Ceci peut faire gagner un temps d'analyse considérable, en particulier sur des modèles de grandes dimensions.

Les conditions de symétrie imposent que la géométrie, les charges, les propriétés des matériaux et les déplacements imposés soient équivalents de part et d'autre du plan de symétrie.

### Etape 1 : Activation de la nouvelle configuration

- 1 Cliquez sur l'onglet ConfigurationManager .
- 2 Dans l'arbre **ConfigurationManager**, double-cliquez sur l'icône `Quarter plate`.



La configuration `Quarter plate` est activée.

Le modèle de quart de plaque apparaît dans la zone graphique.

**Remarque :** Pour accéder à une étude associée à une configuration inactive, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur son icône et sélectionnez **Activer la configuration SolidWorks**.



### Etape 2 : Création d'une étude

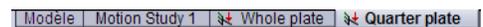
La nouvelle étude créée se base sur la configuration `Quarter plate`.

- 1 Cliquez sur **Simulation, Etude** dans le menu principal de SolidWorks, en haut de l'écran.

Le PropertyManager **Etude** apparaît.

- 2 Sous **Nom**, tapez `Quarter plate`.
- 3 Sous **Type**, sélectionnez **Statique**.
- 4 Cliquez sur .

SolidWorks Simulation crée une arborescence représentative de l'étude dans un onglet situé au bas de l'écran.



### Etape 3 : Affectation du matériau

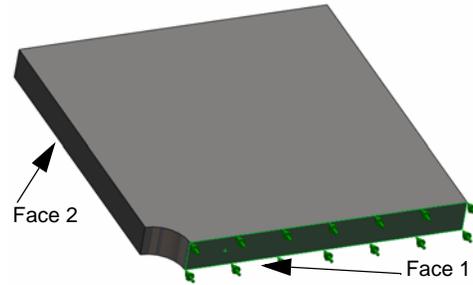
Suivez la procédure décrite dans l'étape 2 de la partie 1 pour affecter le matériau **Acier allié**.

#### Etape 4 : Application de déplacements imposés

Vous appliquez des déplacements imposés aux faces de symétrie.

- 1 Utilisez les touches **fléchées** pour faire pivoter le modèle comme indiqué sur la figure.
- 2 Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Déplacements imposés** puis sélectionnez **Déplacements imposés avancés**.

Le PropertyManager **Déplacements imposés** s'affiche.



- 3 Réglez le **Type** sur **Symétrie**.
- 4 Dans la zone graphique, cliquez sur la Face 1 et la Face 2 indiquées sur la figure. Face<1> et Face<2> apparaissent dans la case **Faces, arêtes, sommets pour le déplacement imposé**.
- 5 Cliquez sur

Vous définissez ensuite un déplacement imposé sur l'arête supérieure de la plaque afin d'empêcher tout déplacement dans la direction globale Z.

#### Pour définir un déplacement imposé sur l'arête supérieure, procédez comme suit :

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Déplacements imposés** et sélectionnez **Déplacements imposés avancés**.

Réglez le **Type** sur **Utiliser une géométrie de référence**.

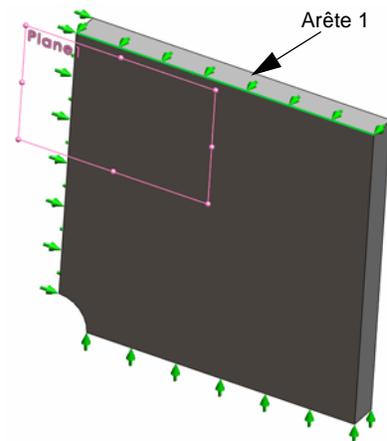
- 2 Dans la zone graphique, cliquez sur l'arête supérieure de la plaque indiquée sur la figure.

Arête<1> apparaît dans la case **Faces, arêtes, sommets pour le déplacement imposé**.

- 3 Cliquez à l'intérieur de la case **Face, arête, plan, axe de direction**, puis sélectionnez le Plan1 dans l'arbre de création FeatureManager mobile.

- 4 Sous **Translations**, sélectionnez **Normal au plan** . Vérifiez que les deux autres composants sont désactivés.

- 5 Cliquez sur .



Après l'application de tous les déplacements imposés, trois éléments : (Symétrie-1) et (Géométrie de référence-1) apparaissent dans le dossier **Déplacements imposés**.

### Etape 5 Application d'une pression

Vous allez appliquer une pression de 100 psi comme indiqué sur la figure ci-dessous :

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Forces externes** et sélectionnez **Pression**.

Le PropertyManager **Pression** apparaît.

- 2 Sous **Type**, cliquez sur **Normal à la face sélectionnée**.
- 3 Dans la zone graphique, sélectionnez la face représentée sur la figure.

- 1 Face<1> apparaît dans la boîte de liste **Faces pour la pression**.

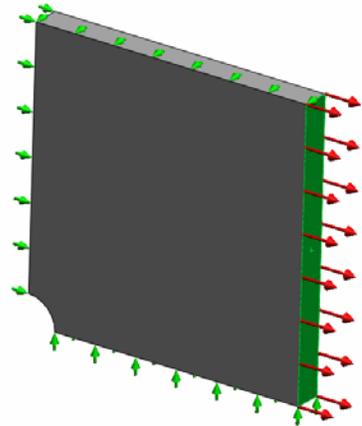
- 2 Définissez les **Unités**  sur **psi**.

- 3 Dans la case **Valeur de la pression** , tapez **100**.

- 4 Cochez la case **Inverser la direction**.

- 5 Cliquez sur .

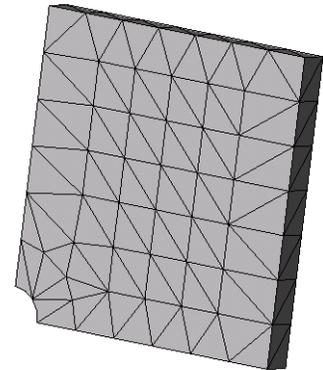
SolidWorks Simulation applique la pression normale à la face sélectionnée et l'icône **Pression-1**  apparaît dans le dossier **Forces externes**.



### Etape 6 Maillage du modèle et exécution de l'analyse

Appliquez les mêmes paramètres de maillage que ceux de la procédure décrite à l'étape 5 de la partie 1, Maillage du modèle et exécution de l'étude à la page 2-7. **Exécutez** ensuite l'analyse.

Le tracé de maillage est indiqué sur la figure.



### Etape 7 Visualisation de la contrainte normale dans la direction X globale

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Résultats**  et sélectionnez **Définir un tracé des contraintes**.

- 2 Dans le PropertyManager **Tracé des contraintes**, sous **Tracé** :

- a) Sélectionnez **SX : Contrainte normale X**.
- b) Sélectionnez **psi** dans **Unités**.

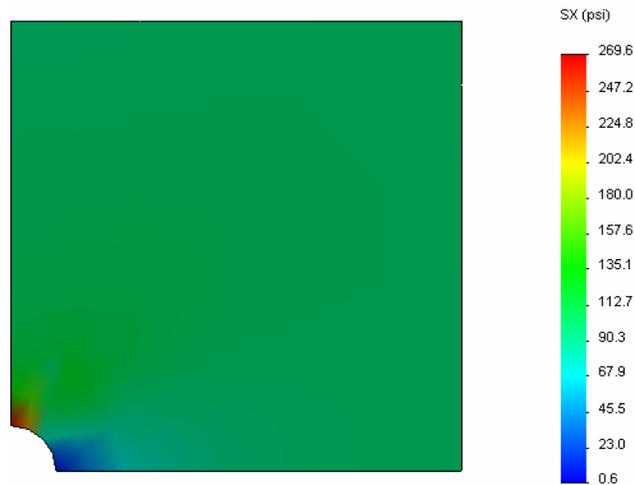
- 3 Sous **Déformée** sélectionnez **Echelle réelle**.

- 4 Sous **Propriété** :

- a) Sélectionnez **Associer le tracé avec l'orientation de la vue nommée**.
- b) Sélectionnez **\*Face** dans le menu.

5 Cliquez sur .

La contrainte normale dans la direction X s'affiche sur la déformée réelle de la plaque.



### Etape 8 Vérification des résultats

Pour le quart de modèle, la contrainte normale maximale est de 269,6 psi. Ce résultat est comparable aux résultats concernant la plaque entière.

Ce résultat diffère de la solution théorique d'environ 10,8 %. Comme indiqué dans la conclusion de la partie 1 de cette leçon, vous pourrez remarquer que cet écart est imputable à la grossièreté du maillage de calcul. Vous pouvez améliorer l'exactitude avec une dimension d'éléments plus faible, précisée manuellement ou par les méthodes adaptatives automatiques.

Dans la partie 3 vous allez utiliser la méthode adaptative H pour améliorer l'exactitude.

## Exercice d'apprentissage actif — Partie 3

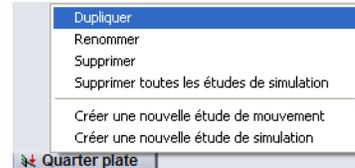
Dans la troisième partie de l'exercice, vous allez appliquer la méthode adaptative H pour résoudre le même problème pour la configuration de Quarter plate.

Pour démontrer la puissance de la méthode adaptative H, vous maillez le modèle avec une taille d'élément importante, avant d'observer comment la méthode H modifie la taille d'élément pour améliorer l'exactitude des résultats.

### Etape 1 Définition d'une nouvelle étude

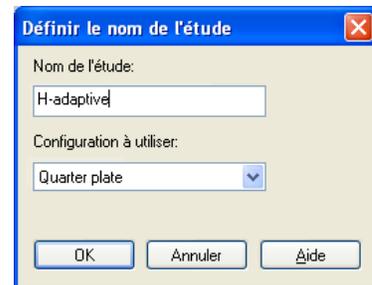
Vous allez créer une nouvelle étude en faisant une copie de l'étude précédente.

- 1 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'étude Quarter plate au bas de l'écran et sélectionnez **Dupliquer**.



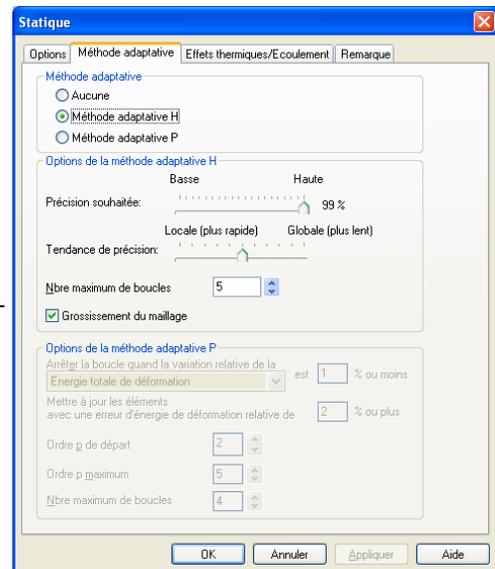
La boîte de dialogue **Définir le nom de l'étude** s'affiche.

- 2 Dans la case **Nom de l'étude**, tapez H-adaptive.
- 3 Sous **Configuration à utiliser** : sélectionnez **Quarter plate**.
- 4 Cliquez sur **OK**.



### Etape 2 Définition des paramètres de l'étude adaptative H

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez avec le bouton droit de la souris sur l'icône de l'étude H-adaptive, puis sélectionnez **Propriétés**.
- 2 Dans l'onglet **Options** de la boîte de dialogue, sélectionnez **FFEPlus** sous **Solveur**.
- 3 Dans l'onglet **Adaptative**, sous **Méthode adaptative**, sélectionnez **Méthode adaptative H**.
- 4 Sous **Options de la méthode adaptative H**, procédez comme suit :
  - a) Déplacez le curseur **Précision souhaitée** jusqu'à **99 %**.
  - b) Réglez le **Nbre maximum de boucles** à **5**.
  - c) Cochez **Grossissement du maillage**.
- 5 Cliquez sur **OK**.



**Remarque :** Lorsque vous dupliquez l'étude, tous les dossiers de l'étude d'origine sont copiés vers la nouvelle étude. Tant que les propriétés de la nouvelle étude restent identiques, vous n'avez pas besoin de redéfinir les propriétés de matériau, charges, déplacements imposés, etc.

### Etape 3 : Remaillage du modèle et exécution de l'étude

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône Maillage et cliquez sur **Créer le maillage**.

Un message d'avertissement apparaît pour signaler que le remaillage supprimera les résultats de l'étude.

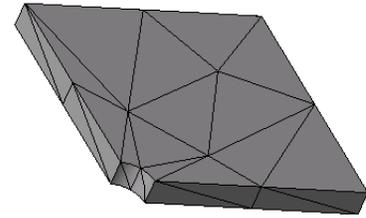
- 2 Cliquez sur **OK**.

Le PropertyManager **Maillage** apparaît.

- 3 Tapez **5,0** (pouces) pour **Taille globale**  et acceptez la **Tolérance**  suggérée par le programme.

Cette valeur importante de taille globale d'élément permet de démontrer l'optimisation du maillage par la méthode adaptative H pour obtenir des résultats exacts.

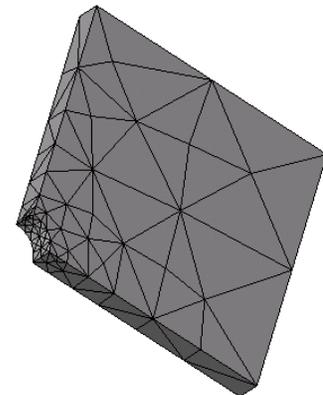
- 4 Cliquez sur . L'image ci-dessus montre le maillage grossier initial.
- 5 Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône **Méthode adaptative H** et sélectionnez **Exécuter**.



### Etape 4 : Affichage des résultats

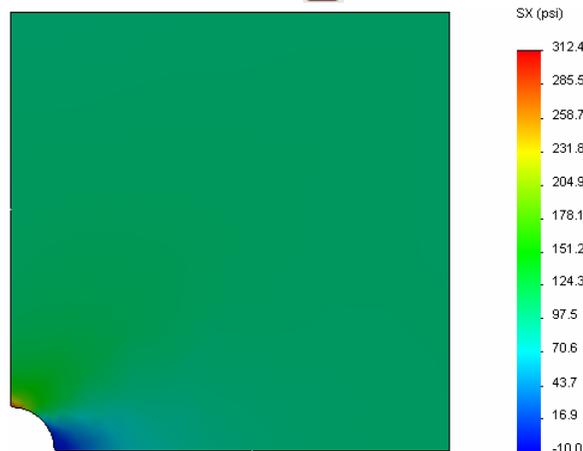
L'application de la méthode adaptative H réduit la taille de maillage d'origine. Remarquez la transition de la taille de maillage d'une maille plus grosse (limites de la plaque) à une maille plus fine à l'emplacement du trou central.

Pour afficher le maillage converti, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône Maillage et sélectionnez **Montrer**.



### Affichage des contraintes normales dans la direction X globale

Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, double-cliquez sur le tracé **Contraintes2 (-Normale X-)** du dossier Résultats .



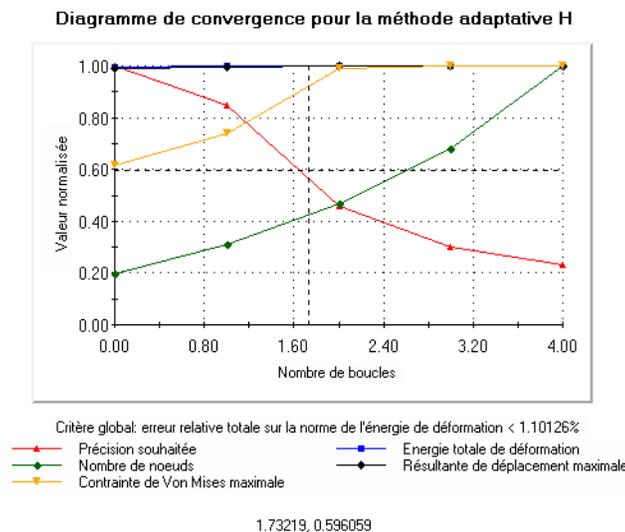
La valeur analytique de contrainte normale maximale est  $\sigma_{\max} = 302,452$  psi

Le résultat de SolidWorks Simulation avec l'application de la méthode adaptative H est  $SX = 312,4$  psi, plus proche de la solution analytique (erreur approximative : 3,2 %).

**Remarque :** La précision souhaitée, qui est définie dans les propriétés de l'étude (dans votre cas 99 %) ne signifie pas que les contraintes résultantes respecteront le pourcentage d'erreur maximal (1 %). Dans le cadre de la méthode des éléments finis, les mesures autres que les contraintes permettent d'évaluer l'exactitude de la solution. Nous pouvons cependant en conclure que, lorsque l'algorithme adaptatif optimise le maillage, la solution des contraintes gagne en exactitude.

### Etape 9 Visualisation des diagrammes de convergence

- 1 Dans l'arbre SolidWorks Simulation Manager, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Résultats  et sélectionnez **Définir un diagramme de convergence adaptatif**.
- 2 Dans le PropertyManager, cochez toutes les options et cliquez sur  .  
Le diagramme de convergence de toutes les grandeurs cochées s'affiche.



**Remarque :** Pour améliorer encore l'exactitude de la solution, il est possible de poursuivre les itérations de l'adaptativité H en lançant des exécutions subséquentes de l'étude. Chaque exécution subséquente de l'étude utilise le maillage final provenant de la dernière itération de l'exécution précédente comme maillage initial pour la nouvelle exécution. Pour appliquer cette fonction, **exécutez** une nouvelle fois l'étude Méthode adaptative H.

## Evaluation de 5 minutes

---

1 Si vous modifiez les matériaux, charges ou déplacements imposés, les résultats ne sont plus valides alors que le maillage le reste, pourquoi ?

---

---

2 La modification d'une dimension annule-t-elle la validité du maillage en cours ?

---

3 Comment activer une configuration ?

---

4 Qu'est-ce qu'un mouvement de corps rigide ?

---

5 Qu'est-ce que la méthode adaptative H et quand est-elle utilisée ?

---

6 Quel est l'avantage de l'utilisation de la méthode adaptative H pour améliorer l'exactitude par rapport à l'utilisation du contrôle de maillage ?

---

7 Le nombre d'éléments change-t-il dans les itérations de la méthode adaptative P ?

---

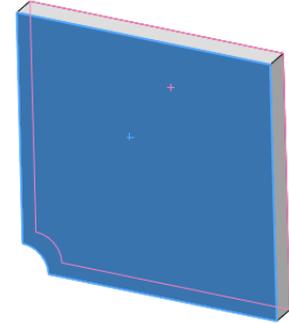
---

## Projets – Modélisation du quart de plaque avec un maillage coque

Utilisez le maillage coque pour résoudre le modèle de quart de plaque. Vous allez appliquer le contrôle de maillage pour améliorer l'exactitude des résultats.

### Tâches

- 1 Cliquez sur **Insertion, Surface, Surface médiane** dans le menu principal de SolidWorks, en haut de l'écran.
- 2 Sélectionnez les surfaces avant et arrière de la plaque comme illustré.
- 3 Cliquez sur **OK**.
- 4 Créez une étude **Statique** appelée Shells-quarter.
- 5 Développez le dossier Plate-with-hole, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur Corps volumique et sélectionnez **Exclure de l'analyse**.
- 6 Dans l'arbre de création FeatureManager, développez le dossier Corps volumiques et **cachez** le corps volumique existant.
- 7 Définissez une coque de **1 po** (formulation **mince**). Pour cela :
  - a) Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur Corps surfacique dans le dossier Plate-with-hole de l'arbre d'études de Simulation et sélectionnez **Modifier la définition**.
  - b) Dans le PropertyManager **Définition des coques**, sélectionnez **po** et tapez **1** pour **Epaisseur de la coque**.
  - c) Cliquez sur .
- 8 Affectez le matériau **Acier allié** à la coque. Pour cela :
  - a) Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Plate-with-hole et sélectionnez **Appliquer le matériau à tout**.
  - b) Développez la bibliothèque Matériaux SolidWorks et sélectionnez **Acier allié** dans la catégorie Acier.
  - c) Sélectionnez **Appliquer** et **Fermer**.
- 9 Appliquez les déplacements imposés de symétrie aux deux arêtes indiquées sur la figure.

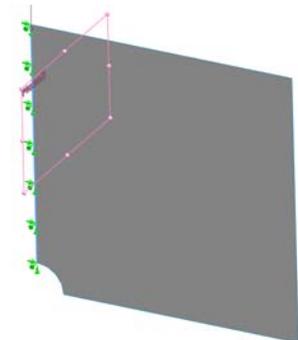



---

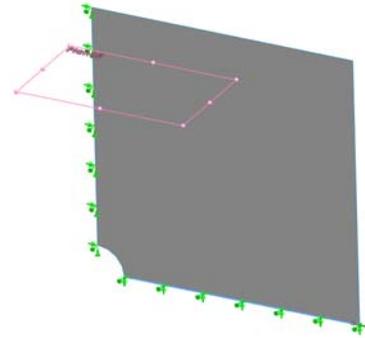
**Remarque :** Pour un maillage coque, il suffit d'imposer le déplacement d'une arête plutôt que de la face.

---

- a) Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier Déplacements imposés puis sélectionnez **Déplacements imposés avancés**.
- b) Dans le champ **Faces, arêtes, sommets pour le déplacement imposé**, sélectionnez l'arête indiquée sur la figure.
- c) Dans le champ **Face, arête, plan, axe de direction**, sélectionnez Plan3.
- d) Appliquez un déplacement imposé à la translation **Normal au plan** et aux rotations **Le long du plan selon dir1** et **Le long du plan selon dir2**.
- e) Cliquez sur .

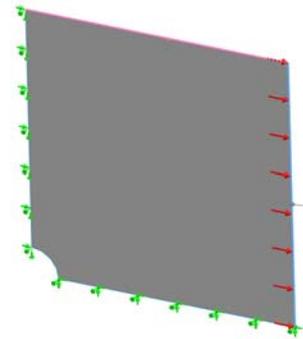


- 10 Utilisez la même procédure pour appliquer un déplacement imposé de symétrie à l'autre arête indiquée sur la figure. Employez cette fois l'élément **Plan2** pour le champ **Face, arête, plan, axe de direction**.



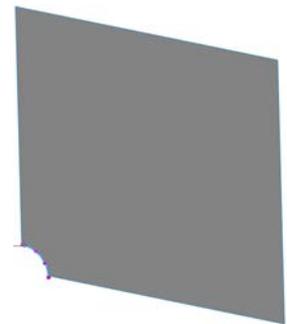
- 11 Appliquez une **pression de 100 psi** à l'arête indiquée sur la figure.

- Cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur le dossier **Forces externes** et sélectionnez **Pression**.
- Sous **Type**, sélectionnez **Utiliser une géométrie de référence**.
- Dans le champ **Faces, arêtes pour la pression**, sélectionnez l'arête verticale indiquée sur la figure.
- Dans le champ **Face, arête, plan, axe de direction**, sélectionnez l'arête indiquée sur la figure.
- Spécifiez **100 psi** dans la boîte de dialogue **Valeur de la pression**.
- Cliquez sur .



- 12 Appliquez le contrôle de maillage à l'arête indiquée sur la figure. L'utilisation d'une taille d'élément plus faible améliore la précision.

- Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône **Maillage** et sélectionnez **Définir un contrôle de maillage**. Le PropertyManager **Contrôle de maillage** apparaît.
- Sélectionnez le bord du trou comme indiqué sur la figure.
- Cliquez sur .



- 13 Maillez la pièce et exécutez l'analyse.

- Dans l'arbre d'études de Simulation, cliquez à l'aide du bouton droit de la souris sur l'icône **Maillage** et sélectionnez **Définir un contrôle de maillage**. Le PropertyManager **Contrôle de maillage** apparaît.
- Sélectionnez le bord du trou comme indiqué sur la figure.
- Cliquez sur .

14 Tracez la contrainte dans la direction X. Quelle est la contrainte SX maximale ?

**Réponse :** \_\_\_\_\_

15 Calculez l'erreur dans la contrainte SX normale par la formule suivante :

$$ErrorPercentage = \left( \frac{SX_{Theory} - SX_{SIMULATION}}{SX_{Theory}} \right) 100$$

**Réponse :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Leçon 2 Feuille de vocabulaire

---

Nom : \_\_\_\_\_ Classe : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

*Remplissez les blancs avec les mots appropriés.*

- 1 Une méthode qui améliore les résultats de contrainte en raffinant automatiquement le maillage dans les régions de concentration de contraintes :  
\_\_\_\_\_
- 2 Une méthode améliorant les résultats de contrainte en augmentant l'ordre polynomial :  
\_\_\_\_\_
- 3 Le type de degrés de liberté qu'a un nœud d'un élément tétraédrique :  
\_\_\_\_\_
- 4 Le type de degrés de liberté qu'a un nœud d'un élément de coque :  
\_\_\_\_\_
- 5 Un matériau ayant des propriétés élastiques égales dans toutes les directions :  
\_\_\_\_\_
- 6 Le type de maillage approprié pour les modèles massifs :  
\_\_\_\_\_
- 7 Le type de maillage approprié pour les modèles minces :  
\_\_\_\_\_
- 8 Le type de maillage approprié pour les modèles comportant des pièces minces et massives :  
\_\_\_\_\_

## Questionnaire Leçon 2

---

Nom : \_\_\_\_\_ Classe : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

*Instructions : Répondez à chaque question en écrivant la ou les réponses correctes dans l'espace prévu.*

1 Combien y a-t-il de nœuds dans les éléments de coque de qualité moyenne et haute ?

---

---

2 La modification de l'épaisseur d'une coque nécessite-t-elle un remaillage ?

---

---

3 Qu'est-ce que les méthodes adaptatives et quelle est l'idée de base de leur formulation ?

---

---

---

4 Quel est l'avantage de l'utilisation de configurations multiples dans votre étude ?

---

---

5 Comment créer rapidement une étude légèrement différente d'une étude existante ?

---

---

6 Quand les méthodes adaptatives ne sont pas possibles, que peut-on faire pour améliorer la confiance dans les résultats ? \_\_\_\_\_

---

7 Dans quel ordre le programme calcule-t-il les contraintes, les déplacements et les déformations ?

---

---

8 Dans une solution adaptative, quelle est la quantité qui converge le plus rapidement : déplacement ou contrainte ?

---

---

