

## TP2 - Travaux pratiques de la formation « Initiation » : Cylindre mince sous pression

---

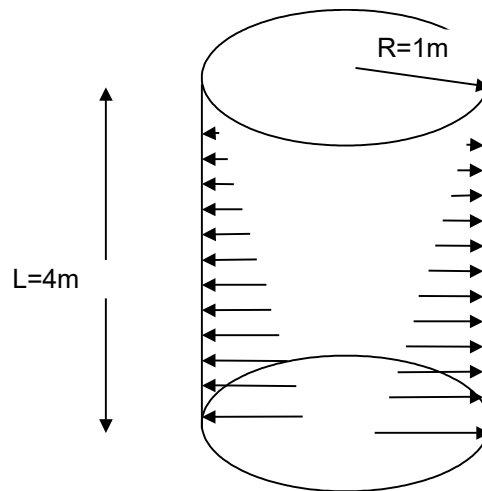
### Résumé :

Il s'agit d'un calcul simple d'un réservoir mince sous pression hydrostatique modélisé en axi-symétrique et en 3D.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

Le problème à modéliser est un réservoir cylindrique mince d'épaisseur constante (épaisseur  $0.1\text{ m}$ , rayon intérieur  $R=1\text{ m}$ , hauteur  $L=4\text{ m}$ ) soumis à une pression interne variable avec la hauteur, correspondant à une pression hydrostatique. Le comportement matériau considéré est l'élasticité linéaire.

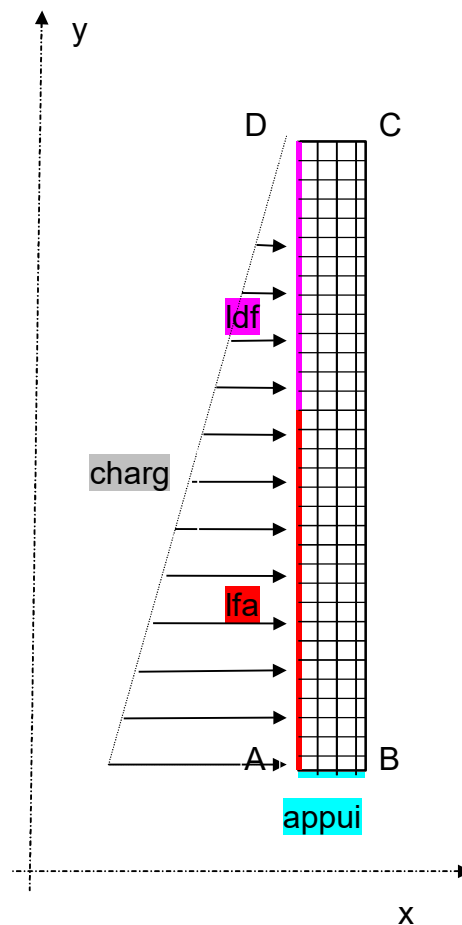


En raison du caractère axisymétrique des chargements et de la géométrie, il est possible de ne modéliser qu'une tranche de la structure réelle. Il est ici proposé de :

- Mettre en place une modélisation axisymétrique dans un premier temps
- Effectuer une analyse tridimensionnelle dans un second temps

### 1.2 Conditions aux limites et chargements

Les chargement à considérer sont une pression hydrostatique qui varie linéairement en fonction de la hauteur, ainsi qu'un déplacement bloqué au bas du réservoir, dans la direction  $OY$ , tel que présenté à la figure ci-après.



### 1.3 Propriétés des matériaux

Les caractéristiques sont :

- Module d'Young  $E = 210\,000\text{ MPa}$
- Coefficient de Poisson  $\nu = 0,3$
- Pression interne variable avec la hauteur :  $0,2\text{ MPa}$  au niveau de  $AB$  , et  $0\text{ MPa}$  au niveau de  $CD$  ,

## 2 Modélisation A – Modèle Axisymétrique

### 2.1 Déroulement du TP

Il s'agit de mener à bien le calcul élastique en générant la mise-en-données via le module `AsterStudy` de la plate-forme `salome_meca`.

Un maillage bidimensionnel est déjà fourni : `TP02.mmed`. Il faut dans un premier temps l'importer dans le module `Mesh` de `salome_meca` et vérifier les groupes de nœud ainsi que la correspondance entre le maillage et la géométrie présentée précédemment.

**Question** : Quelle unité utilise le maillage ? En mètre ou en millimètre ?

**Question** : Dans quelle quadrant se situe le maillage dans le plan  $XY$  ?

#### 2.1.1 Mise-en-données via `Asterstudy`

On utilise un assistant de calcul pour initialiser l'étude. On y accède dans le module AsterStudy dans l'onglet Case View via Operation/Add Stage with Assitant ou par clic droit sur le CurrentCase et Add Stage with Assitant.

## Assistant de calcul **Linear isotropic elasticity** :

- Choix du maillage :  
On sélectionne le maillage `Face` disponible dans le module `Mesh`
- Choix de la modélisation :  
**Question** : Quelle modélisation doit-on choisir et pourquoi ?
- Propriété des matériaux :  
Il faut remplir avec des unités SI
- Application de la pression :  
La pression proposée par l'assistant est uniforme. Or, on se trouve ici dans un cas où la pression est fonction de l'espace, ce qui n'est pas possible dans cet assistant. L'assistant sera donc complété en choisissant une valeur de pression quelconque à affecter sur un groupe de nœud quelconque : elle sera par la suite retirée de l'étude et remplacée par une pression fonction de l'espace
- Définition du fichier de sortie des résultats au format `MED` :  
On choisit un fichier de sortie pour le résultat au format `MED` (par exemple `TP2_resu.rmed`)

Une fois l'assistant de calcul exécuté, une mise en donnée correspondant aux valeurs renseignées est générée. La mise en donnée est un enchaînement de commande que le code exécutera pour réaliser l'étude. Les commandes sont classées en catégorie `Mesh`, `Model Definition`, `Material`, `BC and Load` etc... pour faciliter la lecture de l'étude. L'ordre des commandes est géré automatique grâce aux dépendances inter-commandes et aux catégories.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

## Retrait de la pression uniforme :

Sous la section de mise-en-données « `BC and LOAD` », deux chargement sont présents : ***mecabc*** et ***mecach***.

**Question** : Lequel contient la condition aux limites en déplacement et lequel contient une pression uniforme ? Effacer par clique droit la pression uniforme.

**Question** : Pourquoi certaines commandes sont-elles maintenant en rouge ?

## Ajout de la pression :

Afin d'enrichir le modèle d'une pression croissante en fonction de la position verticale, il faut dans un premier définir une fonction. Pour ce faire, on passe par « `COMMANDS` », puis « `FUNCTIONS` » et finalement « `DEFI_FONCTION` »

**Question** : la pression évolue en fonction de quel paramètre ? Le sélectionner dans « `NOM_PARA` », Puis affecter les valeurs via le mot-clé `VALE`.

Rappel : on a une pression nulle en  $Y=4\text{ m}$  et une pression de  $0.2\text{ MPa}$  en  $Y=0\text{ m}$ .

Une fois la fonction définie, il est nécessaire d'affecter cette fonction à une condition aux limites en pression. Pour ce faire, il est nécessaire de passer par la commande « `AFFE_CHAR_MECA_F` », qui permet d'affecter des chargements mécaniques issus de fonction à un modèle. Le mot-clé `PRES_REP` doit par la suite être renseigné à l'aide du groupe de maille (mot-clé `GROUP_MA`) où l'on souhaite appliquer la pression, ainsi que de la fonction associée à cette pression (mot-clé `PRES_REP`).

Question : Quel est le groupe de maillages et que est le nom de la fonction

Si tout s'est bien passé, il est possible de valider jusqu'à l'obtention dans l'arbre de commande d'un nouvel objet « `load` » créé via l'opérateur `AFFE_CHAR_MECA_F` dans la section « `BC and Load` ».

Finalement, il ne reste plus qu'à ajouter ce chargement à l'analyse mécanique. Pour ce faire, on modifie l'opérateur d'analyse `MECA_STATIQUE`, via le mot-clé `EXCIT`. On remplace le chargement `mecach`, qui a depuis été supprimé, par le chargement « `load` » nouvellement créé.

### Enrichissement des résultats en sortie :

Dans cette section, on va enrichir le résultat en utilisant un opérateur de post-traitement permettant de calculer des champs supplémentaires, `CALC_CHAMP` :

- On souhaite enrichir un résultat déjà existant. On coche donc `reuse the input object` et on vérifie que le mot-clé `RESULTAT` est bien défini.

- On souhaite calculer les champs de contrainte mot clé `CONTRAINTE` suivant `SIGM_ELNO`,

`SIGM_NOEU` :

- Valider la commande

Dans la commande `IMPR_RESU`, vérifier que `RESU/RESULTAT` est bien renseigné au résultat issu de `CALC_CHAMP` pour imprimer le résultat avec enrichissement.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

### Exécution du calcul, onglet `History View` :

L'exécution et le suivi de calcul sont réalisés dans l'onglet `History View`. Seul le `CurrentCase` est exécutable les `RunCase_X` sont uniquement des sauvegardes d'exécution qui peuvent être rechargées dans le `CurrentCase`.

- Sélectionner le `CurrentCase`

- Sélectionner l'unique stage à exécuter

- Définition des paramètres de calcul dans les onglets `Basic` et `Advanced` de `Run Parameters`. On utilisera la version stable de `code_aster` en local.

- Exécuter le calcul en cliquant sur `Run`

- Fixer l'`Auto Refresh` à 5 second ou surveiller l'état du calcul manuellement avec le bouton `Refresh`

- Vérifier dans l'onglet `Message` qu'aucune alarme et/ou erreur n'ont été émises.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

## 2.1.2 Post-traitements

Pour visualiser les résultats au format `Med`, deux choix sont actuellement disponibles : onglet `Results` dans `AsterStudy` ou directement dans le module `Paravis`. On abordera uniquement l'onglet `Results` dans ce TP.

Dans l'onglet `Results` dans `AsterStudy` :

On propose les post-traitements suivants :

- Importer le fichier de résultats ( `Case Case View` → `Data File s` , cliquer droite sur le fichier de sortie et choisir `Post-process` . Par défaut, la coloration ddu réservoir par le champ de déplacement `DEPL` , une amplification automatique est appliquée à la déformée de la plaque. Pour visualiser bien la différence entre la forme initiale et la déformée, cliquer droit à la fenêtre et choisir `Show as / Wireframe` .

Si tout s'est bien déroulé, on devrait obtenir les résultats suivant pour les déplacements


Localisation	Identification	Résultat numérique de référence	Votre Résultats
<code>NOEUDC</code>	Déplacement <code>DY</code>	-5,32E-06	
<code>NOEUDA</code>	Déplacement <code>DX</code>	9,96E-06	

On peut aussi réaliser des post-traitements directement lors de l'exécution, par exemple, extraction de résultat sous forme de tableau, courbes etc..

On propose d'extraire `SIGM_NOEU/SIYY` au point B et `SIGM_NOEU/SIXX` au point A dans un tableau.

• Ajouter un nouveau stage,

• Extraire le champ au point B avec la commande `POST_RELEVE_T` :

Ouvrir la documentation 

Utiliser OPERATION= « EXTRACTION » deux fois pour le point A et B en précisant  
NOM\_PARA = SIYY ou SIXX

- Imprimer le tableau au format TABLEAU avec la commande IMPR\_TABLE
- Exécuter le stage 2 uniquement,
- Ouvrir le tableau et vérifier la valeur.

Avant de continuer la suite du TP, sauvegarder votre étude.

## 3 Modélisation tridimensionnelle

Pour cette modélisation on démarre à partir du fichier HDF (TP2\_3D.hdf), contenant à la fois une géométrie du réservoir en 3D ainsi qu'un premier maillage Tank.

Vérifier le maillage dans le module Mesh.

La mise-en-données se fait via AsterStudy et on reprend le même assistant de calcul mais en choisissant le modélisation 3D.

**Question** : L'hypothèse d'axisymétrie était fort utile dans le précédemment modèle, notamment pour empêcher la présence de déplacements de corps rigides. Quelles conditions aux limites doivent être imposées de sorte à obtenir le même modèle que pour la modélisation axisymétrique ?

Une fois l'assistant terminé, on procède comme pour le calcul axisymétrique :

- Ajout de la fonction aster pour décrire l'évolution de la pression
- Création du chargement mécanique via AFFE\_CHAR\_MECA\_F
- Modification de MECA\_STATIQUE pour prendre en considération ce chargement

Le calcul peut par la suite être lancé et les résultats visualisés dans le module post-process d'AsterStudy.

**Question** : Les résultats sont-ils les mêmes que pour le calcul axisymétrique ?

Localisation	Identification	Résultat numérique de référence	Votre Résultats
Point correspondant au point C	Déplacement $DY$	-5,32E-06	
Point correspondant au point A	Déplacement $DX$	9,96E-06	

### 3.1 Convergence des calculs

Afin de vérifier la qualité du résultat obtenu, une étude de convergence au maillage est proposée avec 2 possibilités.

#### 3.1.1 Nouveau maillage plus fin

On peut suivre comme suivant :

- Ouvrir le module MESH et éditer MG-CADSurf Parameters\_3 sous Applied hypotheses du maillage Tank
  - Modifier les propriétés du maillage en donnant 0.2 au paramètre 'User size'
- Régénérer le maillage par Compute

Le nouveau maillage étant maintenant disponible, il est maintenant possible de revenir dans asterstudy et de relancer le calcul.

**Question** : Les résultats sont-ils les mêmes que ceux du précédent maillage ? Le calcul converge ?

#### 3.1.2 Commande MACR\_ADAP\_MAIL

Il est également possible de générer un maillage plus fin à l'aide de l'opérateur `MACR_ADAP_MAIL` dans `code_aster`. Cet opérateur prend un maillage en entrée et le raffine/déraffine en fonction de certains critères.

Pour le cas présent, un raffinement uniforme est proposé. Pour ce faire :

- Revenir dans `AsterStudy` et sélectionner le maillage d'origine dans la commande `LIRE_MAILLAGE` i.e. celui qui n'est pas raffiné
- Ajouter la commande `MACR_ADAP_MAIL`, qui est disponible dans les commandes de type `POST PROCESSING`
  - Au mot-clé `MAILLAGE_N`, renseigner le maillage grossier, produit par l'opérateur `LIRE_MAILLAGE`
  - Au mot-clé `MAILLAGE_NP1`, renseigner un nouveau nom pour le maillage de sortie de l'opérateur
  - Au mot-clé `ADAPTATION`, choisir l'option `RAFFINEMENT_UNIFORME`
- Modifier le maillage utilisé pour le calcul : Ouvrir la commande `AFFE_MODELE` et modifier le maillage en entrée par celui généré précédemment via la commande `MACR_ADAP_MAIL`.

Le calcul peut par la suite être relancé. Cette fois-ci, le maillage grossier est lu par `code_aster` et le raffinement du maillage est effectué au sein même de du solveur. Puis, ce nouveau maillage est utilisé pour la simulation qui a déjà été définies

Note : Comme le maillage fin est produit à *la volée*, il n'est pas possible de visualiser ce maillage dans `AsterStudy` car il n'existe pas encore. Si cela s'avère nécessaire, il est préférable de faire le suivant :

- Imprimer le maillage raffiné par `MACR_ADAP_MAIL` dans un fichier `.med` par `IMPR_RESU`
- Importer ce fichier `.med` dans le module `Mesh` pour visualiser le maillage raffiné (comparer avec le maillage initial)

## 3.2 Pour aller plus loin

**On reprend l'étude en axisymétrique.** Dans le module `AsterStudy`, on modifie le fichier de commande pour ajouter le calcul de l'indicateur d'erreur :

- Ajouter les résultats d'erreur avec la commande `CALC_ERREUR` dans la catégorie `Post Processing` : choisir l'option `ERME_ELEM` en utilisant `reuse`.
- Relancer le calcul.

Visualiser les champs de déplacement et d'erreur (composante `ERREST`, erreur totale) dans l'onglet `Results`.

On retourne au module `AsterStudy`, on modifie le fichier de commande pour effectuer une adaptation de maillage et calculer ensuite directement la nouvelle valeur d'indicateur d'erreur :

- Catégorie `Post Processing` / commande `MACR_ADAP_MAIL` pour une adaptation de maillage de type `RAFFINEMENT` : on nomme le nouveau maillage par `MAILLAGE_NP1`, par exemple, `mesh2`, sélectionner le critère des éléments (option `CRIT_RAFF_ABS`) à 0.1% pour le paramètre d'adaptation : `RESULTAT_IN / NOM_CHAM=ERME_ELEM / sa composante NOM_CMP = ERREST`.
- Enchaîner ensuite les commandes `AFFE_MODELE`, `AFFE_MATERIAU`, `AFFE_CHAR_MECA`, `MECA_STATIQUE`, `CALC_CHAMP` et `CALC_ERREUR` sur ce nouveau maillage `mesh2` (Dupliquer les commandes en modifiant le maillage et d'autres termes concernants). **Attention** : les noms des concepts de ces commandes ne doivent pas être identiques à ceux d'avant, et ils ne dépassent pas 8 caractères.
- Imprimer les nouveaux résultats de calcul au format `MED` : Commande `IMPR_RESU`.
- Lancer le calcul, et visualiser les champs de contrainte et d'erreur dans l'onglet `Results`.