FORMA01 - Travaux pratiques de la formation « Initiation » : modélisation d'une plaque trouée en élasticité linéaire et adaptation de maillage

Résumé :

Ce test 2D en contraintes planes quasi-statique permet une prise en main de la plate-forme Salome-Meca sur un cas simple en élasticité linéaire.

Il s'agit d'une plaque rectangulaire homogène, trouée en son centre, qui est soumise à une traction à ses extrémités.

Dans un premier temps (modélisation A), on indique comment construire la géométrie puis le maillage et comment mettre en données l'étude. Dans un second temps (modélisation B et C), on procédera à l'adaptation du maillage. Enfin (modélisation D), on présente une solution alternative utilisant la méthode X-FEM.

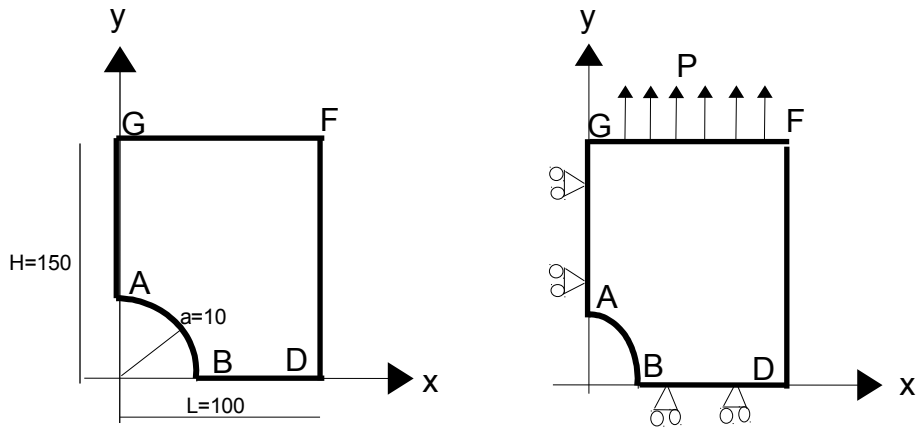
Les énoncés des Travaux Pratiques de la formation (TP1) sont inclus dans ce document (voir les modélisations A, B et C).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'une plaque rectangulaire, comportant un trou, modélisée en $2D$ contraintes planes. On modélise seulement un quart de la plaque grâce aux symétries. Les dimensions sont données en millimètres.



1.2 Conditions aux limites et chargements

Conditions de symétrie :
La plaque est bloquée suivant Ox le long du côté AG et suivant Oy le long du côté BD.

Chargement en contrainte imposée :
Elle est soumise à une traction $P=100\,MPa$ suivant Oy répartie sur le côté FG.

1.3 Propriétés des matériaux

Les caractéristiques sont :

- Module d'Young $E=200\,000\,MPa$
- Coefficient de Poisson $\nu=0,3$
- Limite d'élasticité : $200\,MPa$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Solution élastique

En élasticité, pour une plaque **infinie,** comportant un trou de diamètre a, soumise à un chargement P selon y à l'infini, la solution analytique en contraintes planes et coordonnées polaires (r,θ) est [bib1] :

$$\sigma_{rr}=\frac{P}{2}\left[\left(1-\left(\frac{a}{r}\right)^2\right)-\left(1-4\left(\frac{a}{r}\right)^2+3\left(\frac{a}{r}\right)^4\right)\cos 2\theta\right]$$

$$\sigma_{\theta\theta}=\frac{P}{2}\left[\left(1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\right)+\left(1+3\left(\frac{a}{r}\right)^4\right)\cos 2\theta\right]$$

$$\sigma_{r\theta}=\frac{P}{2}\left[\left(1+2\left(\frac{a}{r}\right)^2-3\left(\frac{a}{r}\right)^4\right)\sin 2\theta\right]$$

En particulier, au bord du trou ($r=a$) : $\sigma_{\theta\theta}=P[(1+2\cos 2\theta)]$

Et le long de l'axe x : $\sigma_{\theta\theta}=\sigma_{yy}=\frac{P}{2}\left[\left(1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\right)+\left(1+3\left(\frac{a}{r}\right)^4\right)\right]$

Numériquement, pour $P=1\,MPa$, et pour une plaque **infinie**, on a :

Point	Composante	Calcul	MPa
A	$SIXX$	$\sigma_{\theta\theta}(r=a,\theta=\pi/2)$	−1
B	$SIYY$	$\sigma_{\theta\theta}(r=a,\theta=0)$	3

Pour une plaque de dimension **finie**, les abaques [bib1] permettent d'obtenir le coefficient de concentration de contraintes, et on trouve que pour une traction de $1\,MPa$, $SIYY$ maximum vaut environ $3.03\,MPa$ au point B .

2.2 Références bibliographiques

[1] Analyse limite des structures fissurées et critères de résistance. F. VOLDOIRE : Note EDF/DER/HI/74/95/26 1995

[2] Stress concentration factors. R.E. PETERSON Ed. J. WILEY p150

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Déroulement du TP

Il s'agit de mener à bien le calcul élastique en générant la géométrie, le maillage et le fichier de commandes AsterStudy à l'aide de la plate-forme Salome-Meca.
La modélisation est C_PLAN élastique. Un quart de la plaque est modélisé. On définira également les commandes nécessaires au dépouillement (tracés de courbes et post-traitements graphiques).

3.1.1 Géométrie

On créera la face plane du quart supérieur droit de la plaque.

Lancer le module Geometry.

Les principales étapes pour construire cette géométrie sont les suivantes :

- Pour définir les contours de la plaque, on peut, par exemple, utiliser l'outil « Sketcher » (Menu New Entity → Basic → 2D Sketch) . Il est plus simple de commencer par le point B de coordonnées $(10,0)$. En partant de B , pour l'arc de cercle, utiliser Element Type(Arc) et Destination(Direction/Perpendicular) , et définir le rayon 10 et l'angle et le rayon 90°. On obtient le point A . Puis utiliser Element Type(Line) et donner les autres points (G , F , D) par leurs coordonnées absolues. Terminer par Sketch Closure.
- On obtient alors un contour fermé (Sketch_ 1) sur lequel on doit construire une face (Menu New Entity → Build → Face) . La géométrie de la plaque est alors complète.
- Construire des groupes utiles pour le calcul. Ici on construit les 3 groupes des arêtes sur lesquels s'appuieront les conditions aux limites (symétries et chargement) : gauche pour le bord AG , haut pour le bord GF et bas pour le bord BD . Menu New Entity → Group → Create Group : Sélectionner le type d'entité géométrique (ici la ligne, edge) et sélectionner le bord directement dans la fenêtre graphique, ensuite cliquer sur Add, un numéro d'objet doit alors apparaître. On peut changer le nom du groupe avant de le valider par Apply.

3.1.2 Maillage

On créera un maillage plan du quart supérieur droit de la plaque, en éléments d'ordre 2, pour avoir une précision suffisante.

Lancer le module Mesh.

Les principales étapes pour générer le maillage sont les suivantes :

- Construire le maillage (Menu Mesh → Create Mesh) . Sélectionner la géométrie à mailler Face_1, puis choisir Algorithm → NETGEN 1D-2D en ajoutant Hypothesis → NETGEN 2D Parameters. Dans cette hypothèse, sélectionner Fineness → Fine et cocher la case Second Order avant de Apply.
- Calculer le maillage (Menu Mesh → Compute) . Une fenêtre des informations de maillage doit apparaître, et on obtient alors un maillage libre.
- Créer les groupes de mailles correspondants aux groupes géométriques (Menu Mesh → Create Groups from Geometry) . Sélectionner tous les 3 groupes des arêtes sous module Geometry et puis Apply. On obtient 3 groupes des arêtes sur le maillage.
- Pour obtenir une meilleure précision, on va faire passer le maillage de linéaire à quadratique, grâce à l'outil « Modification -> Convert to/from quadratic ». Les plus curieux peuvent comparer les différences de résultats entre les deux types d'éléments.
- (Facultatif) Exporter le maillage au format MED : selectionner Mesh_1 et cliquer droite, puis choisir Export / MED file.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Remarques :

Ce maillage est suffisamment fin (avec des éléments quadratiques) pour avoir une bonne approximation de la solution en élasticité : par exemple si on compare $\sigma_{\theta\theta}$ sur le bord du trou par rapport à la solution analytique, on obtient un écart de moins de 5%.

La géométrie et les paramètres de maillage sont définis dans le fichier `forma01a.datg` associé au test. Le maillage produit est stocké dans le fichier `forma01a.mmed`.

3.2 Création et lancement du cas de calcul (via AsterStudy)

Lancer le module `AsterStudy`.
Puis en colonne gauche, cliquer sur l'onglet `Case View`. Dans la case `Data Settings`, cliquer à droite à `CurrentCase` et choisir `Add Stage`. C'est dans `Stage_1` où on définit le fichier de commandes du cas de calcul.

Nota : chercher des commandes par Menu `Commands → Show All` or par les 10 catégories de calcul : `Mesh`, `Model Definition`, `Material`, `Functions and Lists`, `BC and Load`, `Pre Analysis`, `Post Processing`, `Fracture and Fatigue`, `Output`.

Les principales étapes pour la création et le lancement du cas de calcul sont les suivantes :

- Lire le maillage au format MED : Catégorie `Mesh` / Commande `LIRE_MAILLAGE`. Le maillage dans le module `MESH` est disponible dans la liste. Sinon le bouton derrière permet de choisir un maillage dans les répertoires.
- Orienter la normale du bord sur lequel le chargement de traction sera appliqué : Catégorie `Mesh` / Commande `MODI_MAILLAGE / ORIE_PEAU_2D` en affectant le groupe `haut` dans `GROUP_MA`. On garde le même nom du maillage en utilisant `reuse`.
- Définir les éléments finis utilisés : Catégorie `Model Definition` / Commande `AFFE_MODELE` pour la modélisation en contraintes planes 2D (`C_PLAN`). Ajouter un terme dans `AFFE`. Dans ce terme, affecter OUI à `TOUT` éléments, et choisir le phénomène `MECANIQUE`, et ajouter le terme de contraintes planes 2D (`C_PLAN`) dans la modélisation
- Définir le matériau : Catégorie `Material` / Commande `DEFI_MATERIAU` . Choisir `ELAS` et saisir les valeurs du module de Young et du coefficient de Poisson.
- Affecter le matériau : Catégorie `Material /` Commande `AFFE_MATERIAU`. Définir au moins une option entre `MAILLAGE` et `MODELE`. Ajouter un terme dans `AFFE`, et affecter le matériau défini à `TOUT`.
- Affecter les conditions aux limites mécaniques et le chargement : Catégorie `BC and Load` / Commande `AFFE_CHAR_MECA` :
  - pour la symétrie sur le quart de plaque : `DDL_IMPO`. Pour le `gauche`, `DX=0`, et pour le `bas`, `DY=0`.
  - pour la traction : `PRES_REP`. Pour le `haut`, saisir la traction à `PRES` (donc c'est négatif).
- Résoudre le problème mécanique statique linéaire : Catégorie `Analysis` / Commande `MECA_STATIQUE` en donnant le matériau (`CHAM_MATER`), la modélisation (`MODELE`), les conditions aux limites et le chargement (`EXCIT`).
- Calculer le champ : Catégorie `Post Processing` / Commande `CALC_CHAMP` en activant `reuse` (pour garder le même nom de l'objet d'entrée dans la commande). C'est-à-dire qu'on enrichira le concept issu de `MECA_STATIQUE` en reprenant le même nom.
  - pour le calcul du champ de contraintes : `CONTRAINTE / SIGM_ELNO` (contraintes par éléments aux nœuds), `SIGM_NOEU` (contraintes globales aux nœuds).
  - pour le calcul du champ de contraintes équivalentes : `CRITERES / SIEQ_ELNO` (par éléments aux nœuds), `SIEQ_ELGA` (par éléments aux points de Gauss), `SIEQ_NOEU` (globales aux nœuds).
- Imprimer les résultats d'un calcul au format MED : Catégorie `Output` / Commande `IMPR_RESU` . Ajouter un terme dans `RESU`, et choisir les résultats à imprimer. Définir le fichier de sortie (.rmed) par `UNITE`.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Pour lancer le cas de calcul, en colonne gauche, cliquer sur l'onglet `History View` . Il faut sauvegarder l'étude d'abord, et selectionner `CurrentCase`. Ajouter `Stage_1` en sélectionnant `run` (croix en vert). Avant de lancer, vérifier des paramètres de calcul souhaité dans la case Run Parameters : temps limite de calcul, mémoire, version de code_aster etc.

3.3 Post-traitement des résultats

Pour visualiser les résultats, deux choix sont actuellement disponibles : onglet `Results` dans AsterStudy, et le module `ParaViS`.

Choix 1 : Dans l' onglet `Results` dans AsterStudy :
On propose les post-traitements suivants :

- Importer le fichier de résultats (Case `Case View → Data F ile s` , cliquer droite sur le fichier de sortie et choisir `Post-process` . Par défaut, la coloration de la plaque 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` .
- D ouble cliquer le champ souhaité, utiliser le boutton `Probe values on one or more points or cells` (symbole croix) pour vérifier les valeurs aux points A et B.
- (facultatif) aller au module Paravis, on trouve l'état actuel de visualisation et aussi toutes les actions historiques.

Choix 2 : Dans le module `ParaViS` :
On propose les post-traitements suivants :

- Importer le fichier de résultats (Case `Case View → Data Files`, cliquer droite sur le fichier de sortie et choisir `Open in ParaVis`.
- Télécharger les résultats : Dans l'onglet `Properties` la colonne à gauche, choisir d'abord les champs souhaités pour importer, et cocher l'option `GenerateVectors`, puis appliquer `Apply`.
- Visualiser le maillage initial (passer en représentation `Surface With Edges`).
- Visualiser la déformée de la plaque (Menu `Filters → Common → Warp By Vector` avec les options `Vectors = results_DEPL_Vector` et `ScaleFactor = 100` avant `Apply`).
- Visualiser le champ de contraintes par éléments aux nœuds ou au points Gauss : selectionner le résultat importé, puis dans le Menu `Filters → Mechanics`, choisir l'option de visualisation souhaitée.

Vérifier la valeur des contraintes au nœud B : si l'on retrouve un rapport 3 entre la contrainte $\sigma_{\theta\theta}$ (= σ_{yy}) au bord du trou et la force appliquée. Pour visualiser les résultats sur un nœud, activer `Hover points on` (comme la photo ci-dessous), et déplacer la souris au nœud souhaité.



3.4 Grandeurs testées et résultats

Valeur des composantes de contraintes :

Localisation	Identification	Référence (Analytique)	Tolérance
Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	5,0%
Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	15,0%

Ces tests sur des valeurs analytiques sont doublés par des tests de non-régression

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Déroulement du TP

Il s'agit de mettre en œuvre l'adaptation de maillage à la suite d'un calcul élastique.
On repartira donc de l'étude réalisée lors de la modélisation A.

4.2 Adaptation de maillage

Après avoir lancé 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.

Pour visualiser les champs de contrainte et d'erreur (composante ERREST, erreur totale), on peut effectuer le post-traitement dans l'onglet Results (fortement recommandé) ou dans le module ParaVis. Les étapes dans le module ParaViS sont comme suivant :

- C ocher les champs à visualiser pour les charger avant d'appliquer GenerateVectors : SIEF_ELGA , ERME_ELEM
- Pour visualiser la composante SIYY du champ SIEF_ELGA notamment au bord du trou : Menu Filters → Mechanics → ELGA field To Surface et passer en représentation Surface With Edges. Pour relever la position de la valeur maximale (de l'ordre de $270\,MPa$) : Menu Edit → Find Data et choisir l'option Cells dans le champ crée ELGAfieldToSurface, selectionner SIEF_ELGA_Vector(1) représentant SIYY et la formule is max.
- Visualiser la cartographie de l'indicateur d'erreur (champ ERME_ELEM , composante ERREST , erreur totale).

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=MAIL2, sélectionner le critère des éléments (option CRIT_RAFF_PE) à 10% 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 MAIL2 (Duplicate les commandes en modifiant le maillage et d'autres termes concernants). **Attendtion** : 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.

Pour visualiser les champs de contrainte et d'erreur, on peut effectuer le post-traitement dans l'onglet Results (fortement recommandé) ou dans le module ParaVis.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Valeur des composantes de contraintes (SIGM_NOEU) avec le maillage initial et après une adaptation :

Maillage	Localisation	Identification	Référence (Analytique)	Tolérance
1	Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	5,0%
1	Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	15,0%

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2	Nœud B	Contrainte	$SIYY$	303,0	2,0%
2	Nœud A	Contrainte	$SIXX$	-100,0	3,0%

Ces tests sur des valeurs analytiques sont doublés par des tests de non-régression.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Déroulement du TP

Il s'agit de mettre en œuvre une adaptation de maillage dans une boucle python sur un calcul élastique.

5.2 Adaptation de maillage

Après avoir lancé le module `AsterStudy` et à partir du fichier de commande de la modélisation A, on ajoute une boucle python pour effectuer deux adaptations (Menu `Operations → Text mode`). On pourra s'inspirer du fichier `forma01c.comm`.
On lance le calcul.

Après avoir lancé le module `ParaViS`, on effectue le post-traitement suivant :

- Voir l'effet de l'adaptation sur le maximum de la composante `SIYY` du champ de contrainte. Le maximum est maintenant de l'ordre de $280\,MPa$.
- Visualiser la cartographie de l'indicateur d'erreur (composante `ERREST`, erreur totale).

5.3 Grandeurs testées et résultats

Valeur des composantes de contraintes pour le maillage initial et après une adaptation :

Maillage	Localisation	Identification	Référence (Analytique)	Tolérance
1	Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	5,0%
1	Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	15,0%
2	Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	2,0%
2	Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	3,0%
3	Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	1,0%
3	Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	2,0%

Ces tests sur des valeurs analytiques sont doublés par des tests de non-régression.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Déroulement du TP

Il s'agit de réaliser la simulation élastique sans mailler le trou, en utilisant la méthode X-FEM.
Pour cela, on utilise la notion d'interface (délimitant le trou), une interface étant vue comme une fissure « infinie » (pas de front de fissure). L'interface est alors représentée par une seule Level Set (Level Set Normale), séparant deux solides, sans contact sur l'interface. On modélise ainsi un trou (vide) car le solide à l'intérieur est isolé du reste de la structure sur laquelle le chargement de pression est appliquée.

On générera la géométrie et le maillage et le fichier de commandes AsterStudy à l'aide de la plate-forme Salome-Meca.
La modélisation est `C_PLAN` élastique. Un quart de la plaque est modélisé.

6.1.1 Géométrie

La géométrie est le quart supérieur droit de la plaque rectangulaire, sans trou.

Lancer le module `Geometry`.

Les principales étapes pour construire cette géométrie sont les suivantes :

- Pour créer la face, on peut, par exemple, utiliser l'outil « rectangle » (Menu `New Entity / Primitives / Rectangle`) , puis éventuellement la translater (Menu `Operations / Transformation / Translation`) .
- Construire les groupes d es arêtes sur lesquels s'appuieront les conditions aux limites (symétries et chargement) (Menu `New Entity → Group → Create Group`) . Sélectionner le type d'entité géométrique (ici la ligne, `edge`) et sélectionner le bord directement dans la fenêtre graphique. Ensuite, cliquer sur `Add` . Un numéro d'objet doit alors apparaître. On peut changer le nom du groupe avant de l e valider par `Apply` . Construire ainsi les 3 groupes de bord utiles pour le calcul : `gauche` pour le bord AG , `haut` pour le bord GF et `bas` pour le bord BD .

6.1.2 Maillage

On créera un maillage plan du quart supérieur droit de la plaque, en éléments d'ordre 2, pour avoir une précision suffisante.

Lancer le module `Mesh`.

Les principales étapes pour générer le maillage sont les suivantes :

- Construire le maillage (Menu `Mesh → Create Mesh`) . Sélectionner la géométrie à mailler, puis l'algorithme `NETGEN 1D-2D` avec l'hypothèse `NETGEN 2D Parameters` . Dans cette hypothèse, sélectionner `Fineness → Fine` et cocher la case `Second Order` .
- Calculer le maillage (Menu `Mesh → Compute`) .
- Créer les groupes de mailles correspondants aux groupes géométriques (Menu `Mesh → Create Groups from Geometry`). Sélectionner tous les groupes géométriques. On obtient 3 groupes d'arêtes sur le maillage.
- Exporter le maillage au format MED.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.2 Création et lancement du cas de calcul (via AsterStudy)

Lancer le module AsterStudy.
Puis en colonne gauche, cliquer sur l'onglet Case View .

On définit le fichier de commandes du cas de calcul.

Nota : Pour ajouter des commandes : Menu Commands → Show All .

Les principales étapes pour la création et le lancement du cas de calcul sont les suivantes :

- Lire le maillage au format MED : Commande LIRE_MAILLAGE .
- Orienter le maillage sur le bord affecté par le chargement : Commande MODI_MAILLAGE / ORIE_PEAU_2D en utilisant le groupe hau t .
- Définir les éléments finis utilisés : Commande AFFE_MODELE pour la modélisation en contraintes planes 2D (C_PLAN).
- Définir l'interface : DEFI_FISS_XFEM avec la forme de fissure (FORM_FISS / ELLIPSE) et le type de discontinuité .
- Créer l es éléments finis enrichis (MODI_MODELE_XFEM). Et nommer un nouveau nom du modèle X-FEM.
- Définir le matériau : Commande DEFI_MATERIAU .
- Affecter le matériau : Commande AFFE_MATERIAU sur le modèle X-FEM.
- Affecter les conditions aux limites mécaniques et le chargement : AFFE_CHAR_MECA sur le modèle X-FEM :
  - pour la symétrie sur le quart de plaque : Enforce DOF (DDL_IMPO),
  - pour la traction : FORCE_CONTOUR.
- Résoudre le problème mécanique statique linéaire : Commande MECA_STATIQUE sur le modèle X-FEM.
- Créer le maillage : Commande POST_MAIL_XFEM . Et nommer un nouveau nom du maillage.
- Définir les éléments finis utilisés : Commande AFFE_MODELE pour la modélisation en contraintes planes 2D (C_PLAN). E t nommer un nouveau nom du modèle.
- Créer le résultat de visualisation : Commande POST_CHAM_XFEM . Et nommer un nouveau nom du résultat .
- Calculer le champ : Commande CALC_CHAMP .
  O n enrichira le concept issu de POST_CHAM_XFEM en reprenant le même nom de concept.
  - pour le c alcul du champ de contraintes par éléments aux nœuds : CONTRAINTE / SIGM_ELNO .
  - pour le calcul du champ de contraintes équivalentes par éléments aux nœuds : CRITERES / SIEQ_ELNO.
  - pour le calcul du champ de contraintes équivalentes par éléments aux points de Gauss : CRITERES / SIEQ_ELGA .
- Imprimer les résultats d'un calcul au format MED : Commande IMPR_RESU .
- Pour lancer le cas de calcul, en colonne gauche, cliquer sur l'onglet History View .

Remarque :

Les modes rigides du trou sont bloqués par les conditions de symétrie appliquées. Dans le cas d'une modélisation de la plaque entière, il aurait fallu bloquer les modes rigides de la plaque et aussi de ceux du trou.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.3 Post-traitement des résultats

Lancer le module ParaViS.

On visualisera la déformée de la plaque puis les contraintes au bord du trou en se comparant avec la solution de référence.

- Importer le fichier de résultats (Onglet Data Files → Open in ParaVis avec l'option GenerateVectors).
- Visualiser la déformée de la plaque (Menu Filters → Common → Warp By Vector).

On pourra éventuellement rajouter une étape de raffinement automatique de maillage pour améliorer la précision des résultats.

Remarque :

Les modes rigides du trou sont bloqués par les conditions de symétrie appliquées. Dans le cas d'une modélisation de la plaque entière, il aurait fallu bloquer les modes rigides de la plaque et aussi de ceux du trou.

6.4 Grandeurs testées et résultats

Valeur des composantes de contraintes aux points A et B :

Pour cela, on calcule le champ SIGM_NOEU. Attention, la notion de SIGM_NOEU est particulière pour X-FEM car les éléments générés pour la visualisation (par POST_CHAM_XFEM) ont des nœuds doubles non connectés. On a donc plusieurs valeurs pour une position de nœud. Dans le cas présent, on a deux nœuds localisés au point A (coté plaque) et deux nœuds localisés au point B (coté plaque). On teste donc le min et le max pour chaque point.

Localisation	Identification	Référence (Analytique)	Tolérance
Nœud A	Contrainte $SIXX$	-100,0	5,0%
Nœud B	Contrainte $SIYY$	303,0	5,0%

Ces tests sur des valeurs analytiques sont doublés par des tests de non-régression.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Synthèse des résultats

Ce test montre comment mener le calcul d'une structure élastique et comment extraire en post-traitement les grandeurs d'intérêt. Il met également en évidence le bénéfice à utiliser l'adaptation de maillage pour améliorer la précision des résultats.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)