

### IV.1. Introduction:

Dans ce chapitre on va discuter les résultats obtenus dans le deuxième et le troisième chapitre. Le modèle statique est validé, en se basant sur le calcul de la force générée ainsi que la pression dans l'alvéole, par la solution obtenue analytiquement du palier infiniment long. Pour accélérer les calculs tout en assurant une bonne convergence une série d'études est ensuite effectuée pour optimiser le modèle statique numérique du palier infiniment long. Après la validation et l'optimisation, le modèle réaliste de la butée à géométrie finie est étudié.

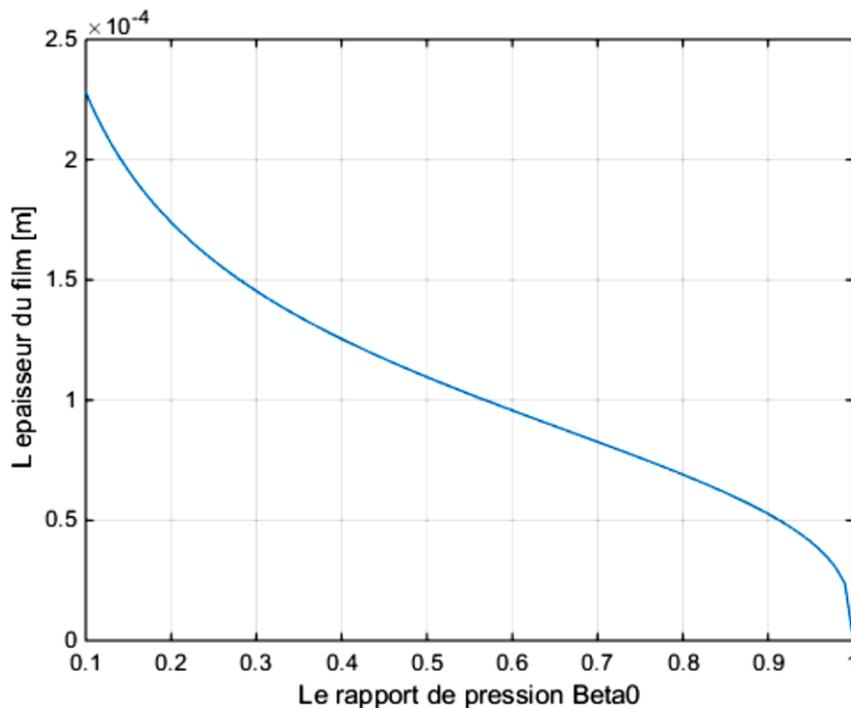
### IV.2. Solution analytique:

La solution analytique est obtenue dans le deuxième chapitre. L'épaisseur du film mince ainsi que le rapport de pression  $\beta_0$  sont donnés par les équations (II.21) et (II.22) respectivement:

$$h = \left( \frac{K_c}{K_q} \left[ \frac{(L_{alv} + L_x)L_z P_s}{F} - 1 \right] \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{II.21})$$

Et

$$\beta_0 = \frac{1}{1 + \frac{K_q}{K_c} h^3} \quad (\text{II.22})$$

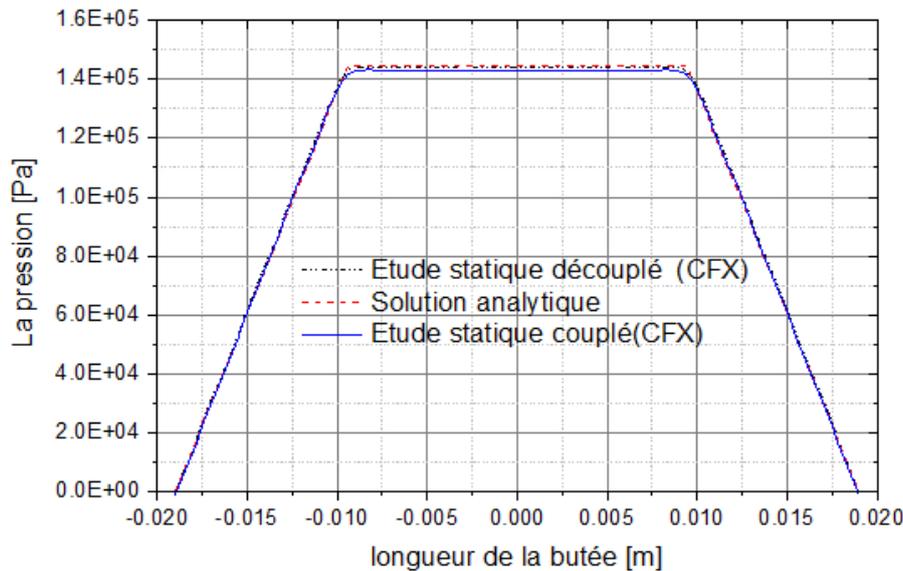


**Figure IV.1:** Variation du rapport de pression  $\beta_0$  en fonction de  $h$  (solution analytique)

### IV.3. solution numérique:

#### IV.3.1. Le modèle de la butée infiniment longue statique découplé :

Pour le calcul numérique on adopte le modèle de la butée très profonde à fin d'assurer la validité de l'hypothèse de la pression constante de l'alvéole considérée analytiquement. En effet, la profondeur de l'alvéole est plus que 152 fois l'épaisseur du film lubrifiant.



**Figure IV.2:** Comparaison entre les résultats analytiques et numériques de la pression dans le film mince.

Il est clair de la figure IV.2 que, la pression du film mince qu'est calculé analytiquement (rouge) pour la butée infiniment longue est presque confondue parfaitement sur celle de l'étude statique découplé calculé par ANSYS-CFX, et cela signifie que le modèle numérique de la butée infiniment longue est valide.

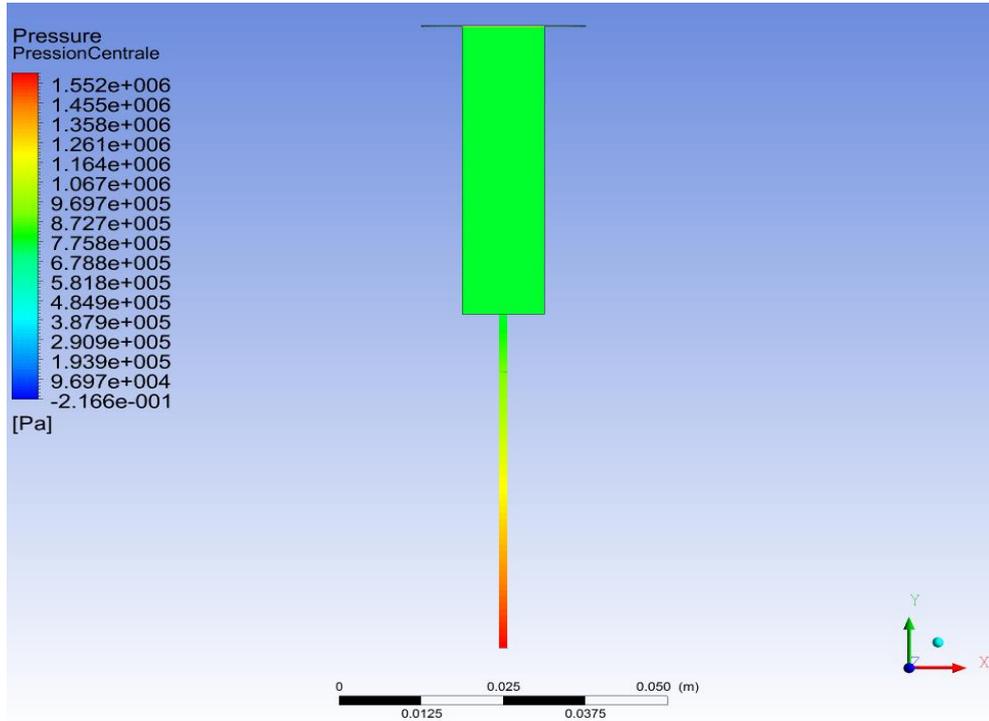
La pression de l'alvéole calculé analytiquement par l'équation II.16 est pour valeur de  $1.44017 \times 10^5 Pa$ , elle est très proche de celle calculée numériquement par ANSYS-CFX (mesurée par la sonde dans CFX-POST), la différence est négligeable.

La force normale sur le grain mobile générée par le lubrifiant qu'est calculé analytiquement par l'équation II.19 est  $W = 78.40 N$ , elle est très proche de celle calculée numériquement par ANSYS-CFX. La différence entre les deux valeurs est très petite, elle est de 0.13 N.

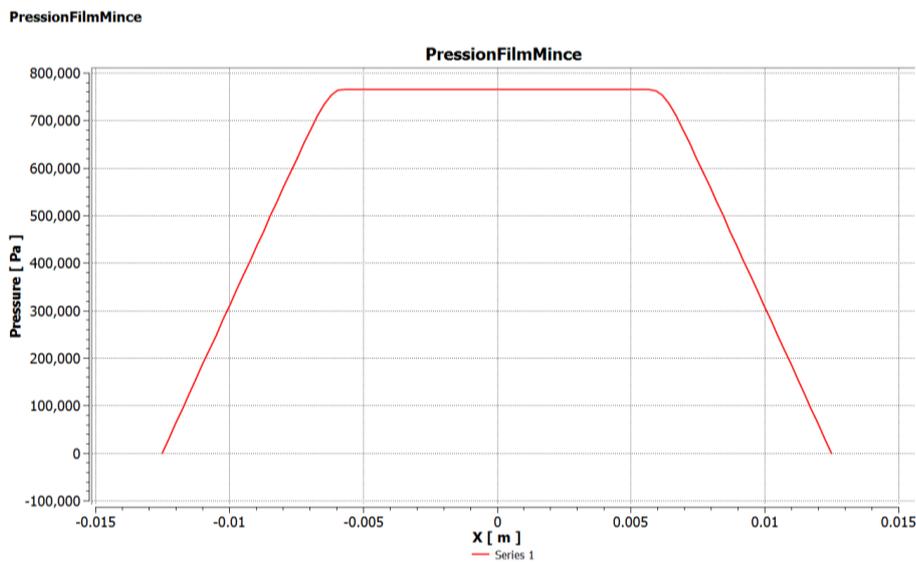
#### IV.3.2. L'optimisation du modèle statique découplé:

L'optimisation est faite sur la base du maillage ainsi que sur le nombre d'itération max. Trois maillages sont considérés:

1. Un maillage dense, avec : 601588 nœuds, 576948 éléments, qualité : inclinaison Max : 0.50222, et inclinaison Min : 3.474e-005
2. Un maillage de densité moyenne, avec : 176628 nœuds, 165508 éléments, qualité : inclinaison Max : 0.50222, et inclinaison Min : 5.8751e-005
3. Un maillage de faible densité, avec : 86173 nœuds, 79728 éléments, qualité : inclinaison Max : 0.50222, et inclinaison Min : 8.2532e-005



**Figure IV.3:** Distribution de la pression dans un plan central parallèle à la longueur infinie (premier maillage)



**Figure IV.4:** Distribution dans la direction de la largeur, le palier central correspond à l'alvéole.

Il est clair des deux figures IV.3 et IV.4 que l'adoption d'une butée avec une alvéole ayant une profondeur 300 fois plus grande que le film mince assure réellement une pression constante dans l'espace d'alvéole.

En termes de convergence on peut voir que le dernier maillage converge difficilement. Toute tentative de diminution de maillage au-delà de cette configuration risque de causer la divergence du calcul.

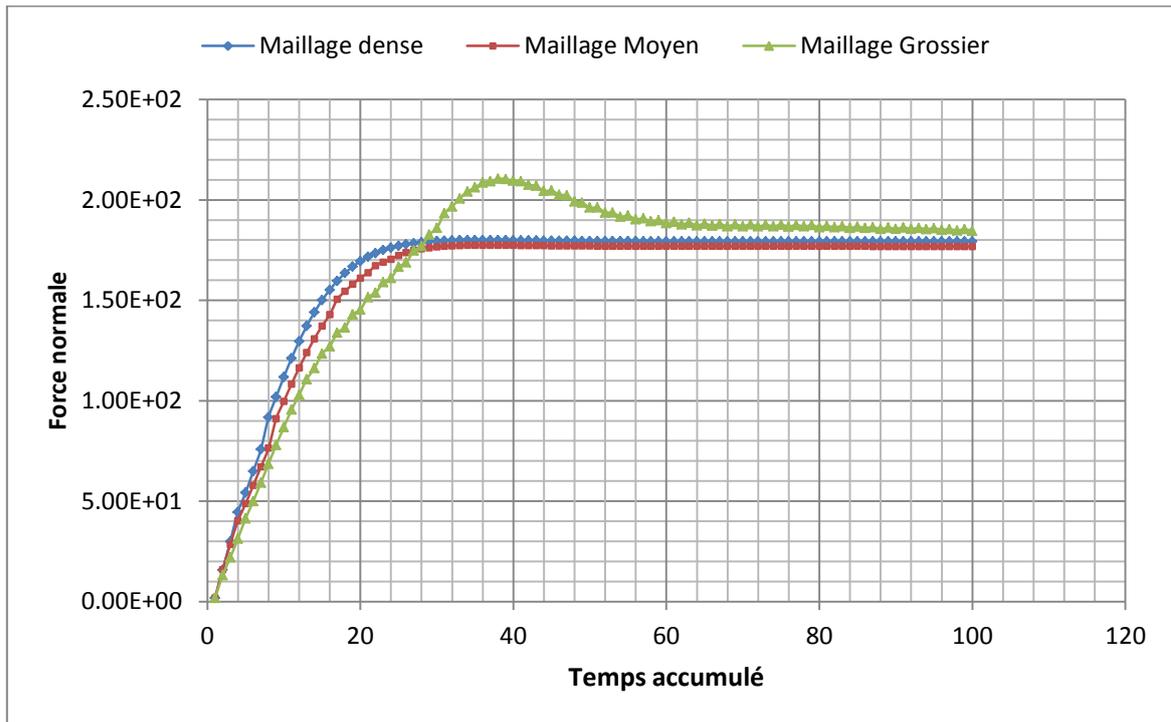


Figure IV.5: convergence du calcul de la force des trois configurations de maillage.

En termes de temps de calcul sur la même machine équipée d'un processeur Intel i5-4200 et de 4Gb de mémoire vive:

Configuration	Nombre de nœuds	Nombre d'éléments	Temps de calcul
Dense	601 588	576 948	18 minutes 18.06 secondes
Densité moyenne	176 628	165 508	5 minutes 26.52 secondes
Faible densité	86 173	79 728	2 minutes 37.3 secondes

Tableau IV.1: Les différentes configurations de maillage pour le modèle statique découplé.

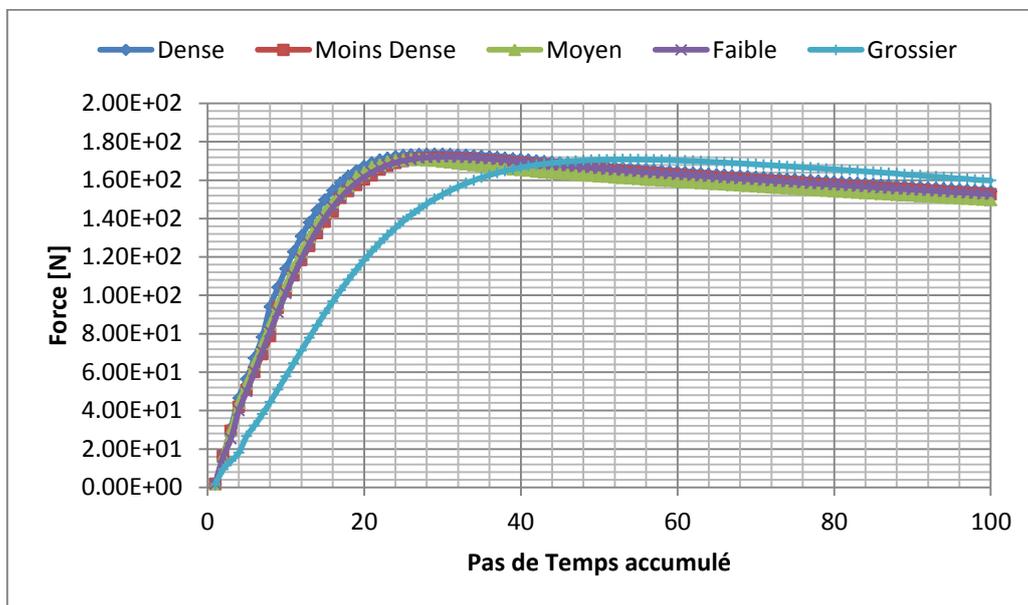
En comparant les deux premières configurations, elles convergent avec presque la même vitesse, et le gain en temps de calcul est très important. Avec un léger gain en temps, la dernière configuration est à éliminer à cause de sa convergence médiocre.

**IV.3.3. Le modèle couplé de la butée infiniment longue en régime permanent:**

L'épaisseur du film n'est pas prédéfinie, elle est choisie arbitrairement et il appartient au solveur (CFX) de trouver la position d'équilibre par schéma itératif.

5 configurations de densité de maillage sont réalisées :

1. 601 588 nœuds,
2. 176 628 nœuds,
3. 72 700 nœuds,
4. 36 056 nœuds
5. et 13 204 nœuds.



**Figure IV.6:** convergence du calcul de la force du problème couplé statique de palier infiniment long après 100 itérations

En termes de temps de calcul sur la même machine équipée d'un processeur Intel i5-4200 et de 4Gb de mémoire vive:

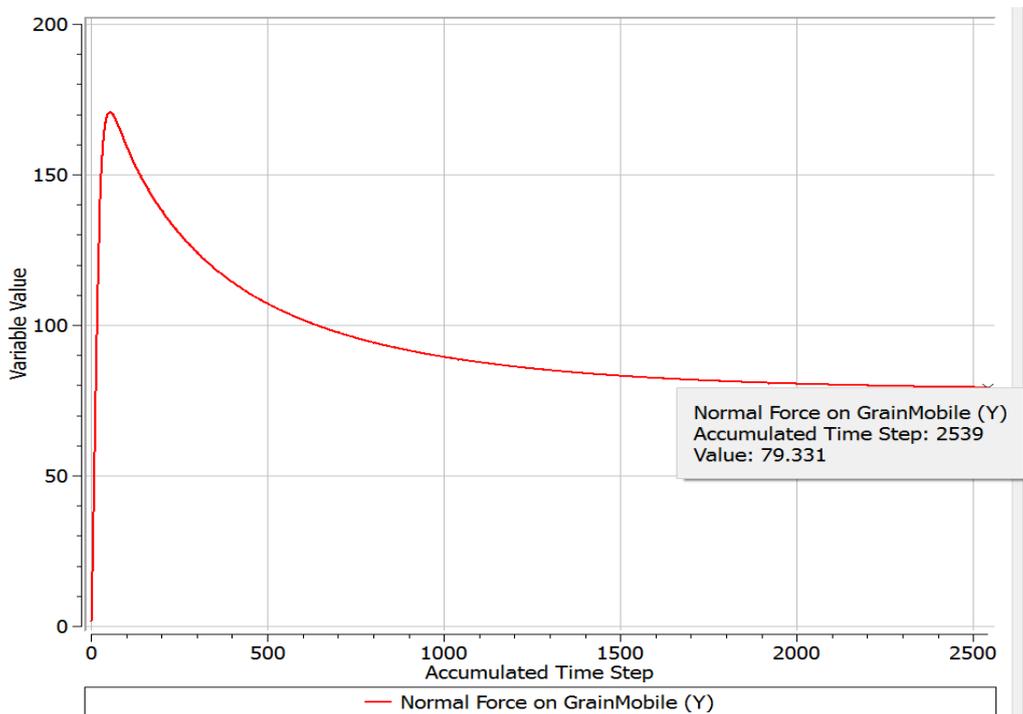
Configuration	Nombre de nœuds	Temps de calcul
Dense	601 588	1 heure 44 minutes 38.134 secondes
Moins dense	176 628	0 heure 30 minutes 30.746 secondes
Moyen	72 700	0 heure 06 minutes 0.157 secondes
Faible densité	36 056	0 heure 02 minutes 54.113 secondes
Grossier	13 204	0 heure 01minutes 8.252 secondes

**Tableau IV.2:** Les différentes configurations de maillage pour l'étude statique couplé et leurs temps de calculs.

En comparant les quatre premières configurations, elles convergent avec presque la même vitesse, et le gain en temps de calcul est énorme : première configuration presque deux heures alors que l'avant dernier calcul prend seulement 3 minutes environs. Avec un léger gain en temps, la dernière configuration est à éliminer à cause de sa convergence médiocre.

Pour arriver à établir une convergence complète vers la solution analytique ça nécessite plus d'itérations.

En augmentant le nombre d'itération on voit clairement que la convergence vers la solution analytique est obtenue.



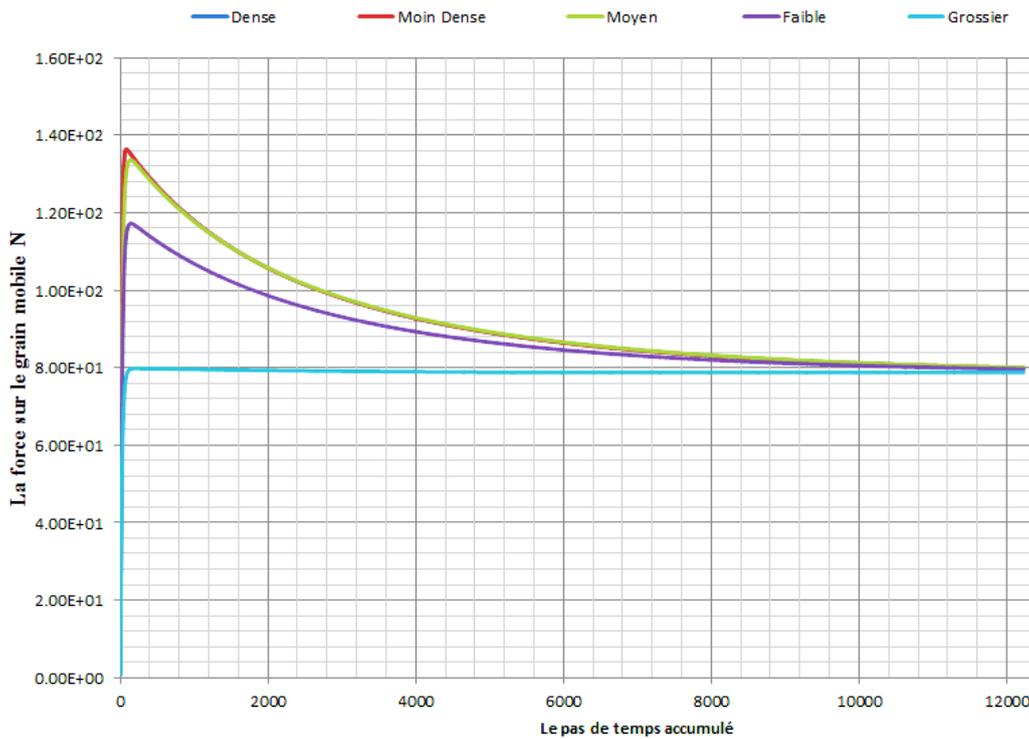
**Figure IV.7:** Convergence de la force après environ 2500 itérations.

#### IV.3.4. Le modèle couplé de la butée de longueur finie en régime permanent:

Après avoir validé le modèle infiniment long, on traite le cas du modèle de longueur finie.

La profondeur de l'alvéole est aussi modifiée. Pour représenter une situation réaliste la profondeur de l'alvéole est égale à 8 fois l'épaisseur du film lubrifiant.

Une convergence similaire au cas précédent est obtenue.



**Figure IV.8:** convergence du calcul de la force du problème couplé statique du palier à dimensions finie après 12 229 itérations.

En termes de temps de calcul sur la même machine équipée d’un processeur Intel i5-4200 et de 4Gb de mémoire vive:

Configuration	Nombre de nœuds	Temps de calcul
Dense	163 756	40 heures et 23 min
Moins dense	87 560	21 heures et 36 min
Moyen	52 344	11 heures et 38 min
Faible densité	28 942	7 heures et 8 min
Grossier	7 652	1heures et 53 min

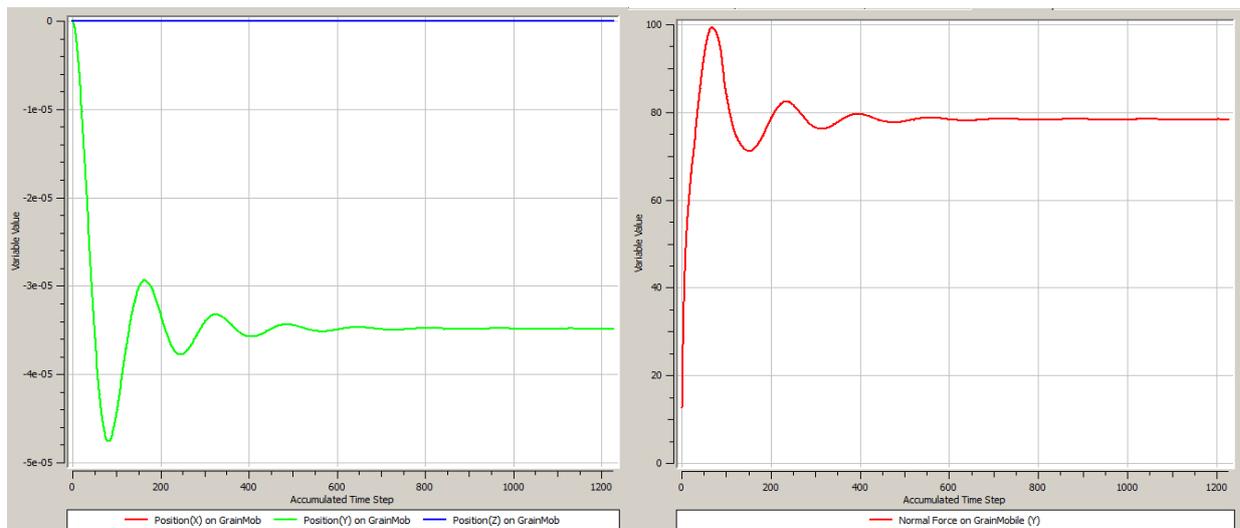
**Tableau IV.3:** Les différentes configurations de maillage pour l’étude statique couplé et leurs temps de calculs.

En comparant les quatre premières configurations, elles convergent avec presque la même vitesse, et le gain en temps de calcul est énorme: première configuration prend 40 heures et 23 minutes alors que le troisième calcul prend seulement 11 heures et 38 minutes environs. Avec un léger gain en temps, l’avant dernière et la dernière configuration sont à éliminer à cause de son convergence médiocre.

### IV.3.5. Le modèle couplé de la butée de longueur finie en régime transitoire (dynamique):

L'épaisseur du film est prise arbitraire tout en gardant la même profondeur de l'alvéole. Ici, vu les ressources **énormes** nécessaires pour le calcul, seulement deux configurations de maillage sont considérées. Les temps de calcul sont de l'ordre de dizaines d'heures et la taille des fichiers de l'ordre de dizaines de Gigabits (pour la première configuration la simulation d'un phénomène qui dure 1 seconde a généré un fichier d'environ 55 Gigabits):

1. Maillage relativement dense à 200 280 nœuds
2. Maillage relativement faible à 42 928 nœuds



**Figure IV.9:** Stabilité du grain mobile après quelques oscillations. A gauche la position du grain mobile, à droite la force générée par le fluide sur le grain mobile.

Les deux configurations donnent des résultats similaires. Le grain mobile fait quelques oscillations et se stabilise autour de la position qui génère une force égale à son poids ; environ 80N. Le calcul dynamique transitoire converge vers la solution du régime permanent.