

## **RAPPORT MS206**

L'objectif du projet est de concevoir une bielle, en changeant sa forme et les différents matériaux utilisés, qui doit respecter les critères suivants :

- 1- La bielle doit être la plus légère possible
- 2- La bielle ne doit pas avoir de fréquence de vibration comprise entre 400Hz et 800Hz
- 3- La déformation plastique de la bielle doit être inférieure à 0,1%
- 4- La bielle ne doit pas flamber

La bielle considérée possèdera aussi la particularité suivante : elle est soumise à une compression de 15000N au niveau de l'axe supérieur tandis que l'axe inférieur reste bloqué (il s'agit d'un encastrement).

### I- INTRODUCTION :

#### 1- Choix du maillage de la FEM :

La FEM (Méthode des Eléments Finis) est nécessaire pour pouvoir simuler et analyser les comportements des différents composants étudiés. La FEM repose sur le choix du maillage approprié pour l'étude. Ce maillage est choisi, en général, de façon triangulaire ou rectangulaire. Il est toutefois important de retenir que l'objectif est d'obtenir le maillage le moins « désordonné » possible afin de faire l'analyse la plus fiable du système. Comme, le système considéré possède des parties « circulaires » (en particulier à ses deux extrémités), le maillage triangulaire semble donc le plus approprié pour « découper » le système, et donc modéliser son comportement. En effet, un maillage rectangulaire serait plus « désordonné » ou plus « gros » que le maillage tétraédrique pour pouvoir découper les surfaces circulaires.

Sur 3DEXpérience, nous allons donc créer un maillage tétraédrique de taille de maillage de 10 mm et de ratio de flèche de 0,1.

#### 2- Etude statique :

Dans le cadre de l'étude statique, nous allons simplement simuler la déformation plastique du système lorsque les charges sont appliquées dessus. Nous allons donc réaliser une procédure d'étude statique d'une durée de 30s.

#### 3- Analyse modale :

L'analyse modale permet d'étudier les « fréquences de vibration » du système et de représenter les modes de vibration de celui-ci. Les fréquences de vibration sont importantes afin de savoir si le système va entrer en résonance avec les autres pièces du moteur à explosion, par exemple. Comme en général, les bielles sont des pièces qui tournent entre 400 et 800 Hz, il faut donc éviter d'avoir des modes de vibration dans cette plage de fréquence.

Pour pouvoir déterminer les modes de vibration du système, nous devons donc réaliser une procédure d'analyse fréquentielle du système. Nous réaliserons donc cette procédure de telle sorte à ne pas dépasser 10 modes (en réalité, seul le premier mode, qui correspond au mode le plus faible, nous intéresse et il faudra s'assurer que sa valeur soit supérieure à 800 Hz).

#### 4- Etude de flambement :

L'étude de flambement permet de donner des informations sur la façon dont le système va se déformer, et les différents modes selon lesquels elle va se déformer. Pour cela, on va aussi créer une procédure de flambement en considérant les paramètres suivants : 10 valeurs propres et 30 itérations maximum.

## II- MODELISATION DE LA PREMIERE BIELLE :

### 1- Choix de la bielle et dimensionnement :

Notre premier choix de bielle est le suivant. Nous l'avons représentée pour une épaisseur de 40mm. Il s'agit de notre configuration « test » de référence, qui nous permettra de comparer nos données avec notre bielle améliorée.



*Figure 1 – Bielle 1 avec son maillage*

### 2- Etude statique :

Nous commençons tout d'abord par réaliser l'étude statique avec comme matériau l'acier #1. Nous obtenons le résultat suivant :

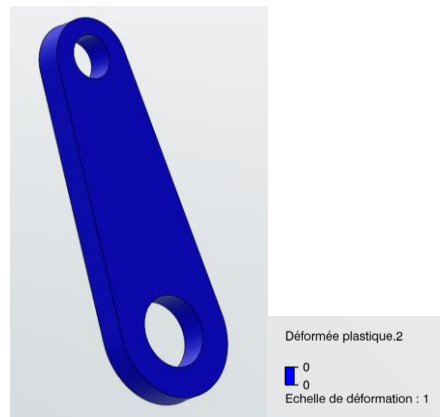


Figure 2 – Déformée plastique de la bielle 1

On observe que la déformée plastique est nulle partout. Donc cette configuration respecte bien le critère du cahier des charges #3. En appliquant aussi l'étape statique au système en changeant de matériau, on obtient toujours la déformée plastique qui est nulle. Donc ce critère est toujours vérifié.

### 3- Analyse modale :

Nous appliquons maintenant l'analyse fréquentielle au système pour les différents matériaux, ce qui nous permettra de déterminer le matériau le plus adapté pour respecter le critère #2 du cahier des charges.

a) Pour l'acier #1 :

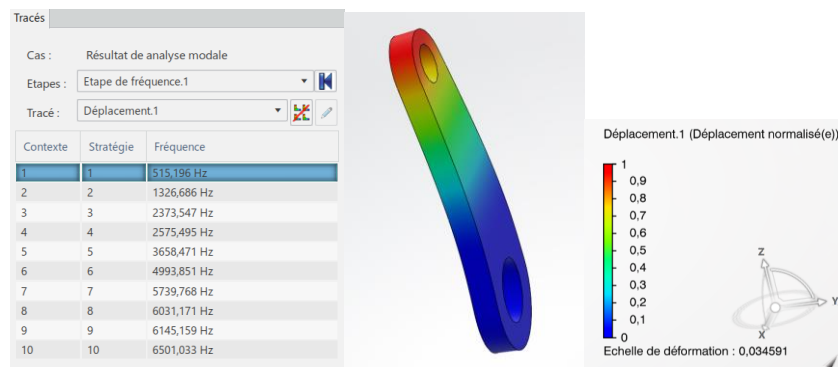


Figure 3- Fréquences propres de la bielle à l'acier #1

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni.

b) Pour l'acier #2 :

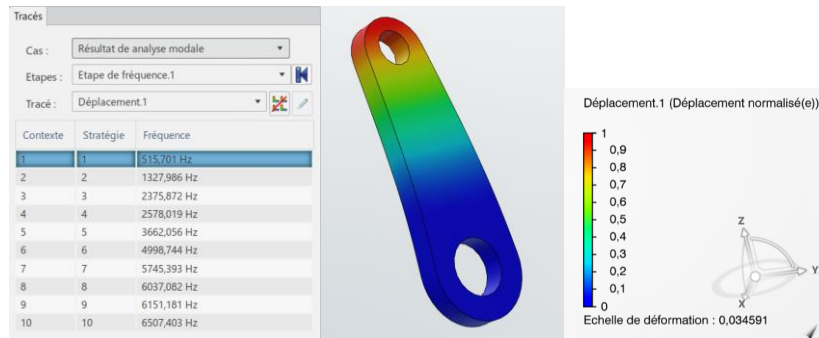


Figure 4- Fréquences propres de la bielle à l'acier #2

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni. Toutefois, on remarque que la première fréquence de vibration est un peu plus faible que dans le cas de l'acier #1.

c) Pour la fonte #1 :

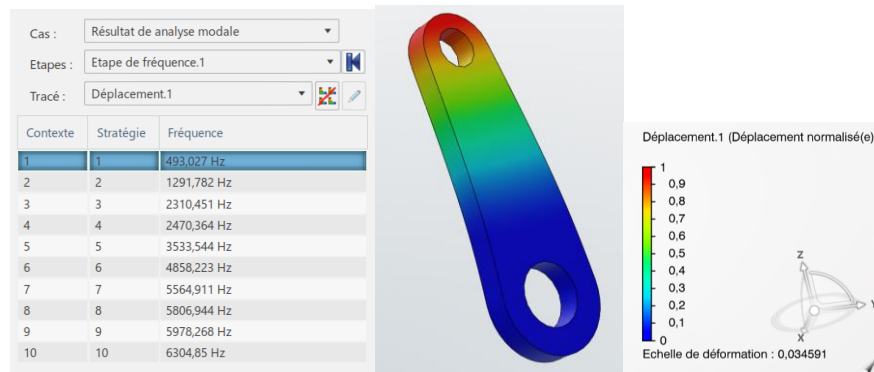


Figure 4- Fréquences propres de la bielle à la fonte #1

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni. Toutefois, on remarque que la fréquence de vibration est un peu plus faible que dans le cas de l'acier.

d) Pour l'alliage d'aluminium #1 :

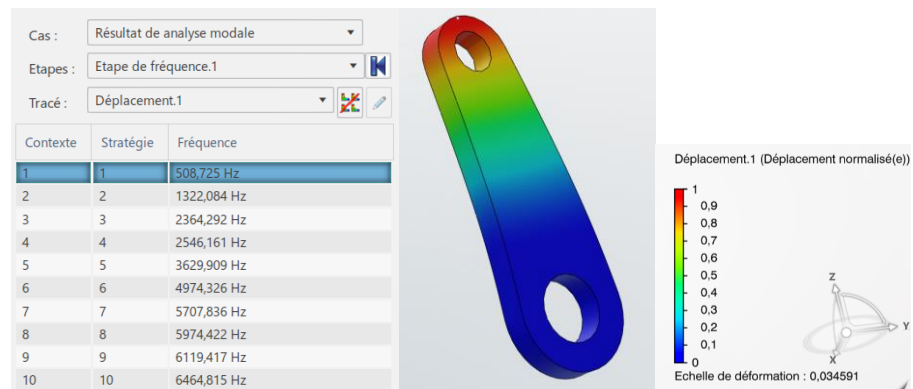


Figure 5- Fréquences propres de la bielle à l'alliage d'aluminium #1

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni. Toutefois, on remarque

que la fréquence de vibration est un peu plus faible que dans le cas de l'acier (508 contre 515 dans le cas de l'acier), mais sa densité est très faible que celui de l'acier (la densité de l'acier vaut plus de 7,65 contre 2,7 dans le cas de l'alliage). On comprend que l'alliage d'aluminium est à privilégier par rapport à l'acier car les fréquences de vibration sont comparables mais la densité de l'alliage est beaucoup plus faible, ce qui permet d'avoir une bielle plus légère et donc de respecter le 4<sup>ème</sup> critère.

e) Pour l'alliage d'aluminium #2 :

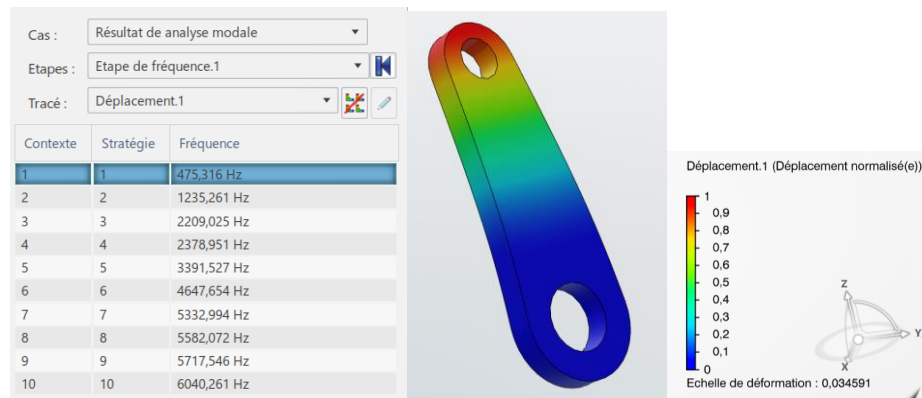


Figure 6- Fréquences propres de la bielle à l'alliage d'aluminium #2

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni. Toutefois, on remarque que la fréquence de vibration est un peu plus faible que dans le cas de l'alliage d'aluminium #1, pour des valeurs de densité qui sont à peu près équivalente. On privilégiera donc plus l'alliage #1.

f) Pour l'alliage de titane #1 :

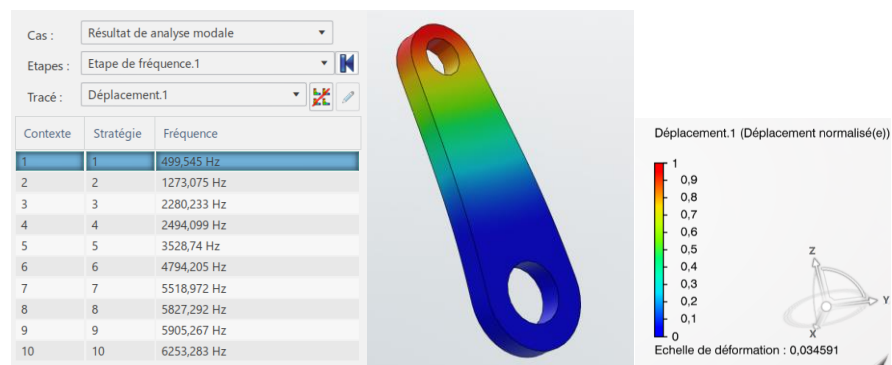


Figure 7- Fréquences propres de la bielle à l'alliage de titane #1

On remarque que l'on possède bien une fréquence entre 400 et 800 Hz, donc la bielle ne respecte pas le critère du cahier des charges fourni. Toutefois, on remarque que la fréquence vibration est un peu plus élevée que dans le cas de l'alliage d'aluminium #2 et un peu plus faible que celle de l'alliage #1. La densité de l'alliage de titane est en plus deux fois plus élevée que celle de l'alliage d'aluminium. Donc on aura tendance à utiliser l'alliage par rapport à celui de titane.

#### 4- Etude de flambement :

a) Pour l'acier #1 :

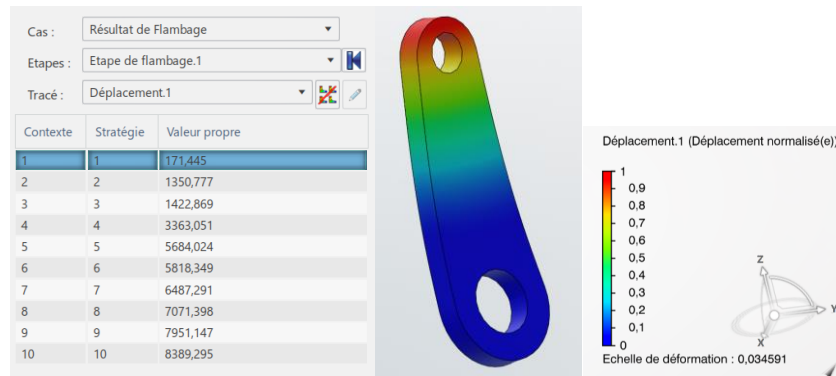


Figure 8- Mode propre 1 de la bielle à l'acier #1

On remarque qu'on a une valeur propre de flambement à 171,445. Cette première valeur propre est très importante car elle est associée au chargement critique le plus faible. De plus, modéliser les modes propres permettent de mettre en évidence les zones les plus faibles de la bielle. On se rend compte ici que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée.

b) Pour l'acier #2 :

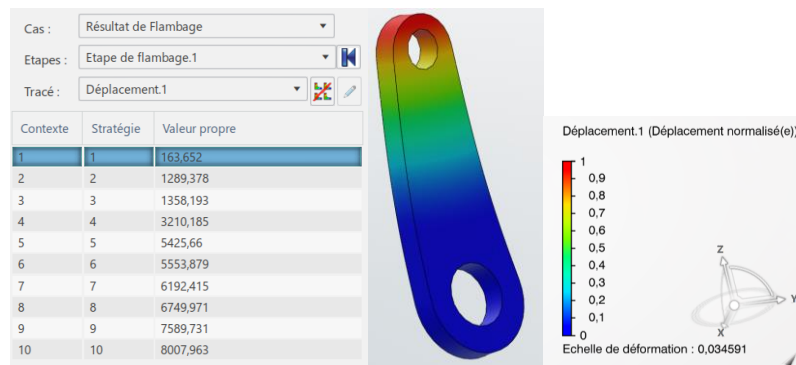


Figure 9- Mode propre 1 de la bielle à l'acier #2

De la même façon, on se rend compte que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée. Toutefois, son premier mode est un peu plus faible que celui de l'acier #1.

c) Pour la fonte #1 :

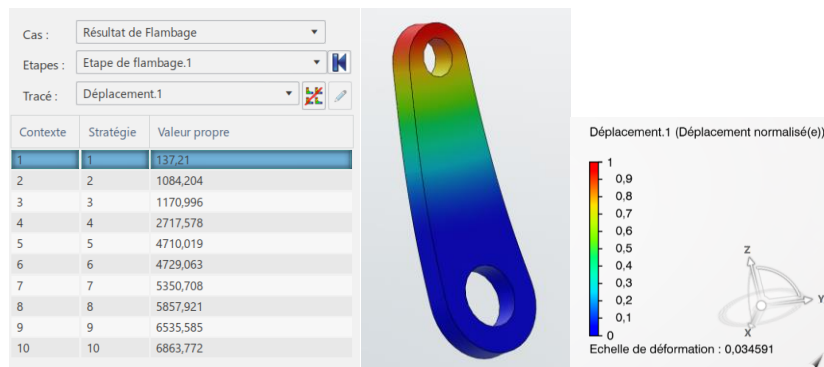


Figure 10- Mode propre 1 de la bielle à la fonte #1

De la même façon, on se rend compte que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée. On se rend compte encore que la valeur du premier mode a diminué.

d) Pour l'alliage d'aluminium #1 :

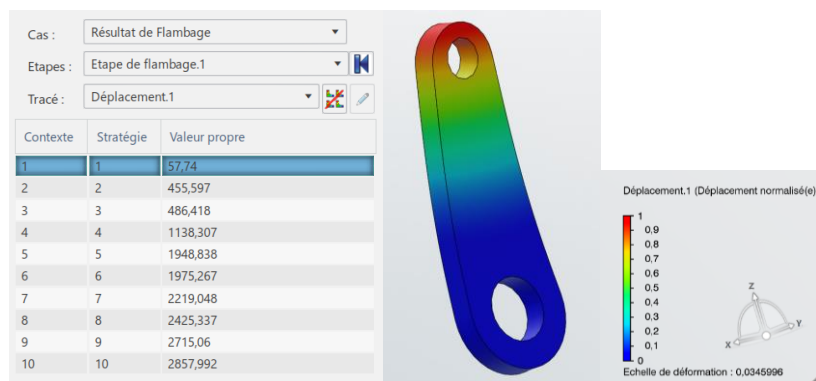


Figure 10- Mode propre 1 de la bielle à l'alliage d'aluminium #1

De la même façon, on se rend compte que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée.

e) Pour l'alliage d'aluminium #2 :

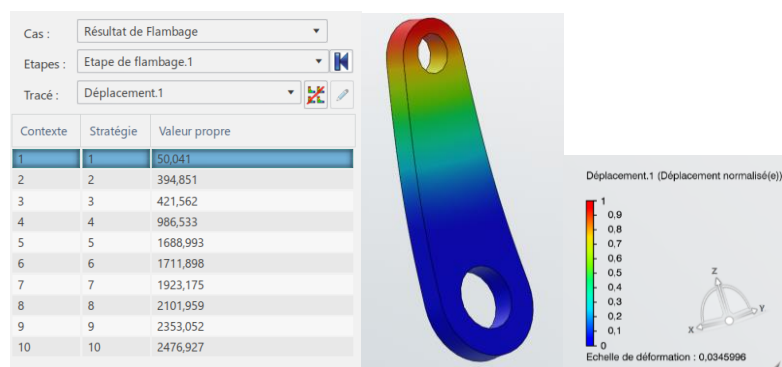
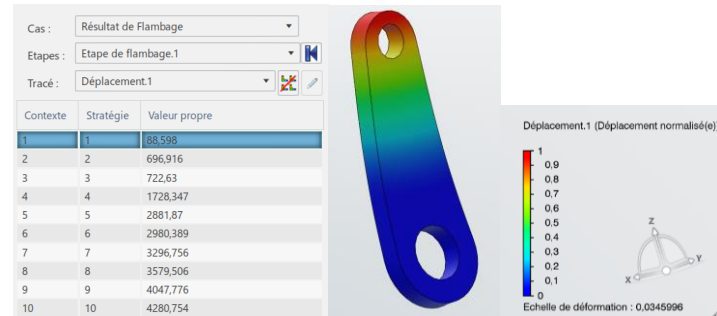


Figure 11- Mode propre 1 de la bielle à l'alliage d'aluminium #2

De la même façon, on se rend compte que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée.

f) Pour l'alliage de titane #1 :



De la même façon, on se rend compte que la partie de faiblesse de la bielle se trouve près de la partie où la charge des 15000N est appliquée.

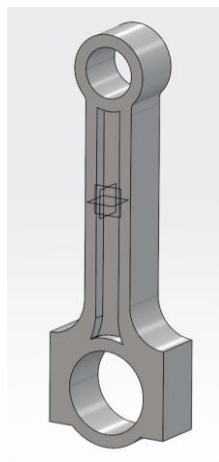
#### 5- Poids de la bielle :

Malheureusement, j'ai eu un bug sur mon logiciel, qui m'empêche d'afficher le produit sur part design. Je n'ai pas donc pu calculer la valeur de la masse.

### III- MODELISATION DE LA DEUXIEME BIELLE :

#### 1- Choix du modèle de la bielle :

Dans ce cas de figure, on décide d'amincir les « côtés » de la bielle, car selon l'étude de flambement, ce n'est pas cette partie qui pose problème et on va « renforcer » les parties où il y a les charges. On propose donc le modèle suivant :



Comme expliqué dans la première partie, on va donc découper le modèle selon un maillage tétraédrique et on obtient le résultat suivant :





Figure 14 – Nouveau modèle de bielle avec maillage

## 2- Etude statique :

De la même façon, on commence par réaliser l'analyse statique du système afin de déterminer s'il y a des déformées plastiques. On se rend donc compte que :

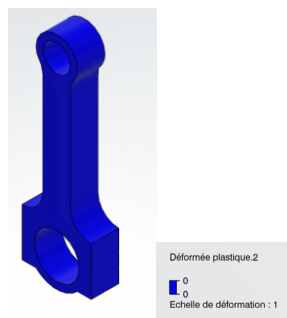


Figure 15 - Déformée plastique de la bielle avec maillage

Il n'y a donc pas de déformée plastique du système.

## 3- Analyse modale :

Afin d'alléger au maximum le système, des poches ont été creusées. J'ai donc commencé par une poche de 5mm à l'avant et à l'arrière de la bielle. Les fréquences étaient donc les suivantes :

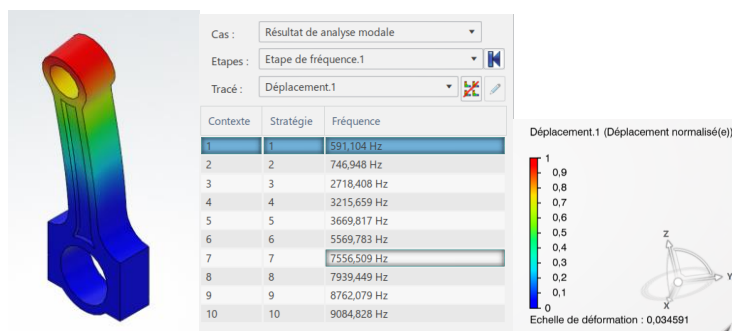


Figure 16- Fréquences de vibration de la bielle améliorée pour une poche de 5 mm

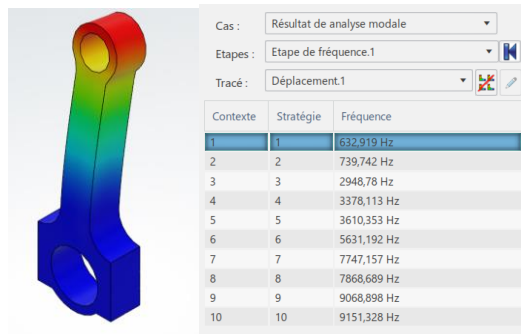


Figure 17- Fréquences de vibration de la bielle améliorée pour une poche de 1 mm

On remarque que la première fréquence de vibration du modèle de la bielle augmente avec la diminution de la profondeur de la poche. Donc on va enlever la poche, afin de respecter le critère #2. Par ailleurs, on fera les expériences, en utilisant l'alliage #1, afin de réduire au maximum la valeur de la masse de la bielle et de respecter le critère #4.

On va maintenant jouer sur la valeur de l'épaisseur pour essayer de respecter le critère #2 qu'aucune fréquence de vibration ne doit être comprise entre 400 Hz et 800 Hz.

a) Pour une épaisseur de 40mm :

Cas :

Résultat de analyse modale

Etapas :

Etape de fréquence.1

Tracé :

Déplacement.1

Contexte	Stratégie	Fréquence
1	1	632,919 Hz
2	2	739,742 Hz
3	3	2948,78 Hz
4	4	3378,113 Hz
5	5	3610,353 Hz
6	6	5631,192 Hz
7	7	7747,157 Hz
8	8	7868,689 Hz
9	9	9068,898 Hz
10	10	9151,328 Hz

On observe que l'on a encore une fréquence de vibration comprise entre 400 et 800 Hz. On doit donc augmenter la valeur de l'épaisseur.

b) Pour une épaisseur de 60mm :

Cas :

Résultat de analyse modale

Etapas :

Etape de fréquence.1

Tracé :

Déplacement.1

Contexte	Stratégie	Fréquence
1	1	695,977 Hz
2	2	830,676 Hz
3	3	2838,423 Hz
4	4	3378,215 Hz
5	5	3975,534 Hz
6	6	5281,211 Hz
7	7	7363,89 Hz
8	8	8555,878 Hz
9	9	8611,489 Hz
10	10	8715,764 Hz

On observe que l'on a encore une fréquence de vibration comprise entre 400 et 800 Hz. Elle est supérieure à la valeur précédente mais pas encore suffisante pour pouvoir respecter le critère. On doit donc augmenter la valeur de l'épaisseur.

c) Pour une épaisseur de 80mm :

Cas :	Résultat de analyse modale	
Etapas :	Etape de fréquence.1	
Tracé :	Déplacement.1	
Contexte	Stratégie	Fréquence
1	1	755,234 Hz
2	2	1153,507 Hz
3	3	2884,424 Hz
4	4	3658,145 Hz
5	5	4978,324 Hz
6	6	5718,015 Hz
7	7	7949,378 Hz
8	8	8804,28 Hz
9	9	9234,933 Hz
10	10	10227,354 Hz

On observe que l'on a encore une fréquence de vibration comprise entre 400 et 800 Hz. Elle est supérieure à la valeur précédente mais pas encore suffisante pour pouvoir respecter le critère. On doit donc augmenter la valeur de l'épaisseur.

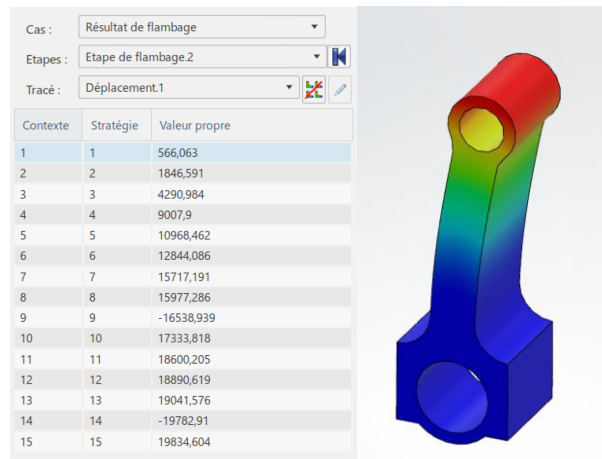
d) Pour une épaisseur de 90mm :

Cas :	Résultat de analyse modale	
Etapas :	Etape de fréquence.1	
Tracé :	Déplacement.1	
Contexte	Stratégie	Fréquence
1	1	757,538 Hz
2	2	1277,333 Hz
3	3	2785,047 Hz
4	4	3659,671 Hz
5	5	5247,234 Hz
6	6	5728,474 Hz
7	7	7948,327 Hz
8	8	8462,995 Hz
9	9	9264,385 Hz
10	10	10598,712 Hz

On observe que l'on a encore une fréquence propre comprise entre 400 et 800 Hz. Elle est supérieure à la valeur précédente mais pas encore suffisante pour pouvoir respecter le critère. On doit donc augmenter la valeur de l'épaisseur.

Toutefois, on remarque que la valeur commence à se stabiliser, i.e. il sera difficile de la faire augmenter sans augmenter de façon considérable l'épaisseur. Le modèle n'est donc pas le plus adapté pour répondre au problème. On se rend compte, qu'il n'y a pas suffisamment de « soutien » au niveau de la partie où la charge de 15000N est appliquée.

#### 4- Etude de flambement :



En regardant la façon dont la bielle s'est déformée, on en déduit bien que le problème vient de la « partie supérieure » de la bielle. En effet, c'est la partie de la bielle qui se déforme le plus. Il faut donc résoudre ce problème en épaississant cette partie. En contre-partie, on enlèvera de la matière au niveau de la partie inférieure puisqu'elle ne subit pas de modifications significatives pendant le chargement.

#### 5- Poids de la bielle :

On a considéré que la bielle était en alliage d'aluminium #1. Le poids de la bielle vaut 3,246 kg tandis que dans le cas de l'acier #1, la masse de la bielle vaut 9,727 kg. La masse totale de la bielle a donc pu être divisée par 3 en utilisant l'alliage d'aluminium #1, tout en gardant des valeurs de fréquences de vibration comparables.

### IV- CONCLUSION :

En étudiant la bielle « test », on a pu déterminer quel est le matériau le plus adapté pour avoir un compromis entre une valeur élevée de la première fréquence et une faible masse de la bielle. Il faut donc privilégier l'utilisation de l'alliage d'aluminium #1. Puis, on a proposé un modèle de bielle pour pouvoir répondre aux exigences du cahier des charges. L'analyse modale et l'étude du flambage de la bielle nous ont permis de mettre en évidence que notre modèle n'était pas « suffisamment » bon (critère #2 n'était pas vraiment respecté) et la déformation était encore trop importante au niveau de la « partie supérieure » de la bielle où était appliquée la charge de 15000N. Il faut donc consolider cette partie. Par ailleurs, on a pu montrer que l'utilisation de poches faisait diminuer la valeur de la première fréquence de vibration de la bielle tandis que l'augmentation de l'épaisseur de la bielle la faisait augmenter. Donc après avoir retracé le nouveau modèle, il faut donc jouer sur l'épaisseur pour pouvoir respecter le critère du cahier des charges. Enfin, la littérature montre que l'épaisseur des bielles des moteurs à explosion tourne autour des 60 mm. Donc l'idéal serait de pouvoir obtenir cette bielle avec une épaisseur inférieure à 60mm.