



Département Génie Mécanique et Productique
Laboratoire de dimensionnement des structures
17 rue de France
69627 Villeurbanne cedex

TP de Dimensionnement des Structures

Semestre N°3 : Optimisation topologique d'une pince sans jeu



Rédigé par : équipe de DDS – Version N°3





Table des matières

I – Introduction	3
II – Contexte de l'étude	4
III – Etude de la pince existante	5
1°/ Etude du cas N°1 de la pince en charge.....	6
2°/ Etude du cas N°2 de la pince à vide	7
IV – Optimisation des formes du préhenseur.....	8
1°/ Etude éléments finis.....	9
2°/ Fabrication et test du prototype	10
3°/ Etude expérimentale.....	10
4°/ Analyse des résultats.....	10
V – Conclusion	11

I – Introduction

Au XVII^e siècle, l'apparition de la machine à vapeur comme source fiable d'énergie a fait basculer le monde dans la première révolution industrielle. La France mettra plus d'un siècle pour comprendre et définitivement s'inscrire dans cette nouvelle ère. Elle restera néanmoins motrice lors des grands bouleversements de l'industrie amenés par la deuxième et troisième révolution industrielle, l'apparition des chaînes de montage au début du siècle dernier et de l'automatisation dans les années 60.

Aujourd'hui, le développement des réseaux de communication, les progrès techniques (augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, miniaturisation des composants, ...), l'apparition de nouveaux moyens de fabrication (impression 3D, fabrication additive, ...) changent radicalement notre manière de communiquer, de produire, et de consommer. Ces bouleversements conduisent une nouvelle fois à une évolution inévitable de l'industrie. Nous parlons alors de quatrième révolution industrielle également nommée « Usine du futur » ou encore « Usine 4.0 ».

La conception de produit n'est pas épargnée par cette révolution. Historiquement, la fabrication par enlèvement de matière imposait au concepteur des formes déterminées. Aujourd'hui, le développement de procédé de fabrication tel que l'impression 3D (plastique, résine ou métal) et le déploiement quasi systématique de la chaîne numérique permettent d'envisager la conception et le dimensionnement des pièces sous un nouveau jour. Grâce à eux, il est maintenant possible de mettre rapidement en œuvre une démarche de conception itérative afin d'alléger les parties d'un mécanisme par l'optimisation de ses formes. Finalement, les produits issus de l'industrie du futur sont conçus de manière à éviter tout gaspillage, « la matière est là où il y en a besoin ». Nous parlons alors d'optimisation topologique (cf. Figure N°1).



Avant optimisation



Après optimisation

Figure N°1 : Exemple de pièce dont les formes ont été optimisées (source : Eduscol-Inspire®)

II – Contexte de l'étude

L'objectif de ce TP est de mettre en œuvre une démarche itérative visant à réduire la masse embarquée d'une pince de robot (Cf. Figure N°2) et plus particulièrement celle de son préhenseur (Cf. Figure N°3). A ce stade de l'étude il est important de noter que les liaisons qui le composent ont la particularité d'être sans jeu. Seule l'élasticité du matériau utilisé pour sa fabrication permet à la pince de s'ouvrir ou de se fermer.

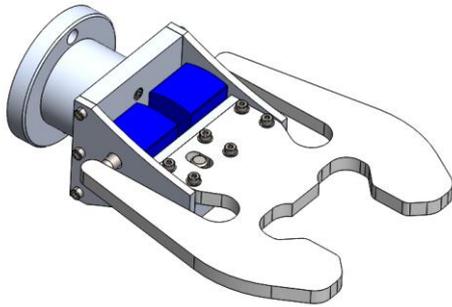


Figure N°2 : Ensemble pince

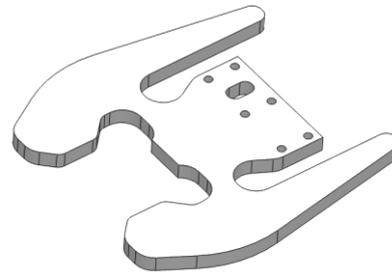


Figure N°3 : Préhenseur

Vous devrez dans une première partie faire le bilan des performances (masse, effort de serrage, ...) du préhenseur actuel à partir de simulations. La deuxième partie sera consacrée à l'optimisation topologique du préhenseur. Vous devrez alors réaliser une première conception sous Solidworks® puis vérifier sa validité à l'aide d'une simulation aux éléments finis. Il conviendra de continuer à modifier le préhenseur et à vérifier son comportement tant que les contraintes imposées par le CdCF ne sont pas respectées. Enfin, vous aurez la possibilité au travers de la troisième partie de réaliser le prototype de votre préhenseur à l'aide d'une découpe laser. Ce sera également l'occasion pour vous de tester votre conception sur un banc d'essais et ainsi de conclure quant à la validité des résultats de votre étude.

L'organigramme ci-dessous (figure N°4) présente de manière synthétique la démarche itérative utilisée tout au long de ce TP :

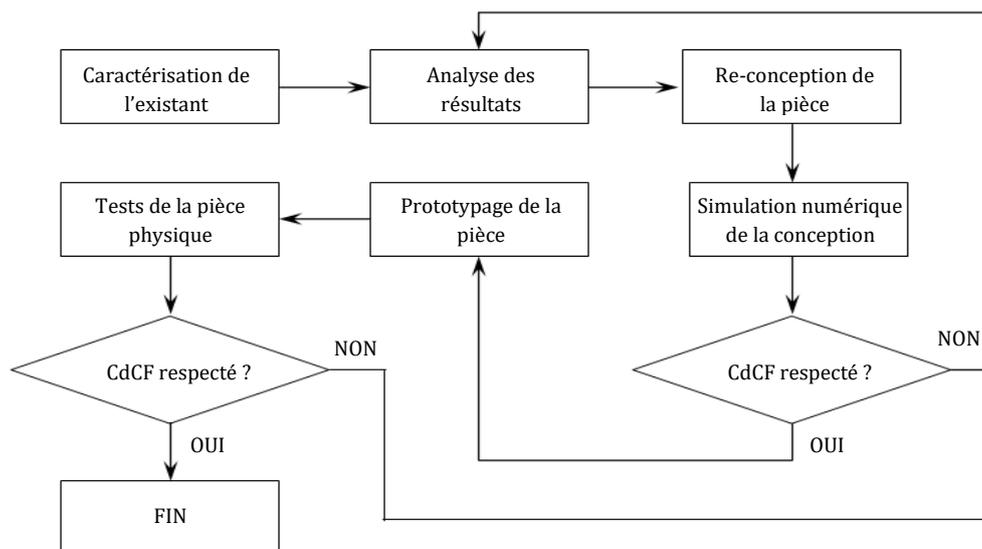


Figure N°4 : Présentation de la démarche itérative

III - Etude de la pince existante

L'optimisation d'un produit passe nécessairement par une phase « bilan de l'existant » dans laquelle il convient d'énumérer de façon quantitative ces performances réelles.

On se propose ici de réaliser un ensemble de simulations aux éléments finis utilisant le modèle numérique du préhenseur. Ce dernier présente des conditions de symétrie sur sa géométrie, ses liaisons avec l'extérieur et ses chargements. Il convient ici d'exploiter cette condition afin de simplifier le modèle utilisé. Pour ce faire, suivez dans l'ordre les différentes étapes présentées ci-dessous afin de réaliser le maillage de la pièce :

Manipulation N°1 : Ouvrez le logiciel Rdm7 EF® et cliquez sur « Dessin – maillage »

Manipulation N°2 : Importez (fichier → Importer → DXF) la géométrie du préhenseur que vous trouverez dans COMMUN → MATIERES → DDS → PRENDRE → Semestre N°3 → TP N°3 → « 1_pince_symetrie ».

Manipulation N°3 : A partir du module de maillage de Rdm7 EF®, retravaillez la géométrie afin d'en obtenir une similaire à celle présentée par la Figure N°5 suivante. A savoir :

- Ajoutez le point ① avec l'outil « point milieu » 
- Ajouter le point ⑥ avec l'outil « coordonnées polaires »  (origine : point ④, Axe par rapport à l'axe x : -90°, Rayon : 60,5mm)
- Transformez l'ensemble des point repérés de ① à ⑥ par des nœuds à mailler ().

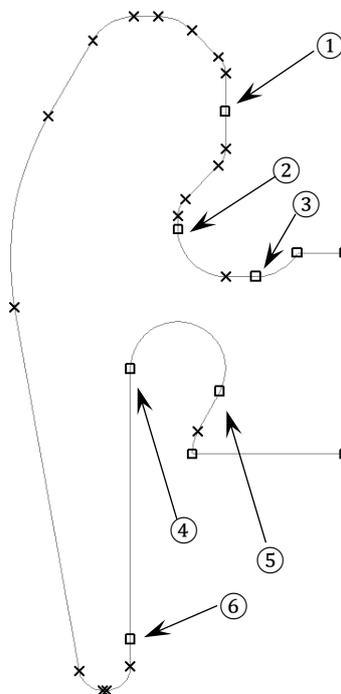


Figure N°5 : Géométrie du préhenseur après modification

Manipulation N°4 : Cliquez sur « Mailler (Delaunay) » puis :

- Multipliez par 3 le nombre des éléments aux nœuds ②, ③, ④ et ⑤ en cliquant sur .
- Maillez la géométrie avec 1000 () éléments T6-1 .

A ce stade de l'étude, deux cas de modélisation sont retenus vis-à-vis du fonctionnement réel de la pince :

- Cas N°1 : La pince se ferme avec une pièce dans ses mâchoires (nota : la pièce est considérée comme parfaitement ajustée aux dimensions des mâchoires lorsque ces dernières sont en position repos).
- Cas N°2 : La pince se ferme à vide.

1°/ Etude du cas N°1 de la pince en charge

Suivez dans l'ordre les étapes suivantes afin de réaliser la SEM du cas N°1 (pince en charge) :

Manipulation N°5 : Sous le module de simulation (module de maillage → fichier → élasticité thermique → contraintes planes) de Rdm7®, renseignez les conditions suivantes :

-  Le matériau (Bibliothèque → Plexiglas).
-  L'épaisseur de la plaque (8mm).
-  Les liaisons avec l'extérieur selon la Figure N°6 suivante.
-  →  Permet d'ajouter la condition de symétrie.
-  Les chargements extérieurs selon la Figure N°6 suivante.

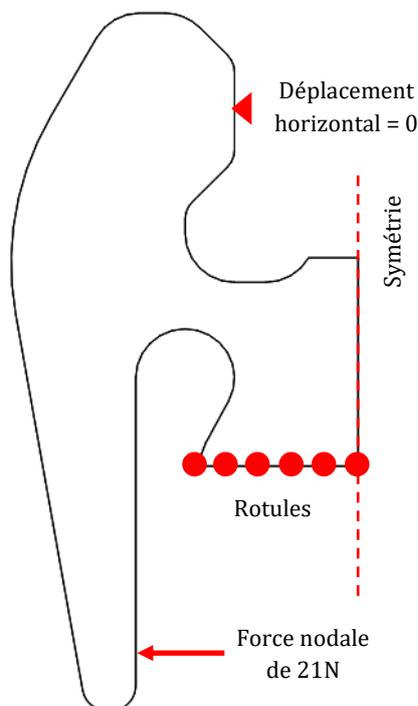


Figure N°6 : Conditions aux limites sur le préhenseur en charge



Manipulation N°6 : Lancez la simulation (Calculer → Analyse statique)

Manipulation N°7 : Remplissez votre document réponses avec les éléments suivants :

- Le déplacement du nœud ⑥ ( puis clic droit sur les nœuds).
- La réaction du nœud ① ( puis clic droit sur les nœuds).
- Le nombre d'éléments (visible en bas à droite de la fenêtre).
- Le temps de calcul (Fichier → Editer → fichier.RES).
- La valeur de la contrainte de Von Mises max (.

2°/ Etude du cas N°2 de la pince à vide

Suivez dans l'ordre les étapes suivantes afin de réaliser la SEM du cas N°2 (pince à vide) :

Manipulation N°8 : Retournez dans le module de paramétrage des conditions de simulation en cliquant sur « modéliser ».

Manipulation N°9 : Supprimez les conditions de déplacement horizontal nul ( → ) du nœud ① puis relancez le calcul. Enregistrez la simulation sous un autre nom afin de ne pas écraser les résultats précédents.

Manipulation N°10 : Remplissez votre document réponses avec les éléments suivants :

- Le déplacement du nœud ⑥.
- Le déplacement du nœud ①.
- Le nombre d'éléments (visible en bas à droite de la fenêtre).
- Le temps de calcul (Fichier → Editer → fichier.RES).
- La valeur de la contrainte de Von Mises max.

IV – Optimisation des formes du préhenseur

On se propose dans cette partie de modifier la conception de la pince et plus particulièrement de la pièce servant à la préhension des objets. Le cahier des charges retenu pour sa re-conception est le suivant :

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilités
FP1 : Diminuer la masse de la pince	Gain de masse	35% mini	F0
FC1 : Conserver la MIP et le MAP du préhenseur sur son support	Volume fonctionnels	Cf. Figure N°7	F0

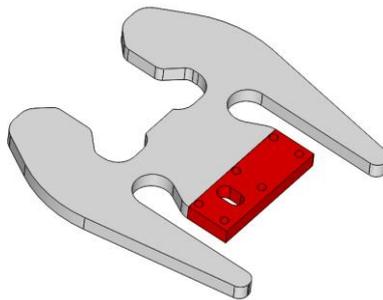


Figure N°7 : Visualisation du volume à ne pas modifier (FC1)

FC2 : Conserver la MIP et le MAP servant à la préhension de l'objet	Surfaces fonctionnelles	Cf. Figure N°8	F0
--	-------------------------	----------------	----

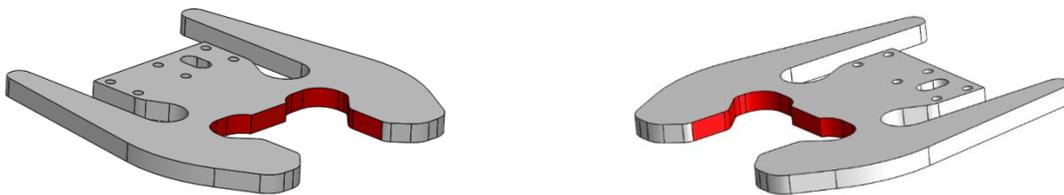


Figure N°8 : Visualisation des surfaces à ne pas modifier (FC2)

FC3 : Conserver la force de préhension	Force de serrage des mâchoires	Entre 27N et 45N	F0
FC4 : Conserver le débattement du préhenseur lors de sa fermeture à vide	Déplacement des mâchoires	Entre 0 et 5mm par mâchoires	F3
FC5 : Conserver la course des vérins presseurs	Déplacement de la tige des vérins	10mm max	F0
FC6 : Conserver le matériau initialement utilisé	Matière Epaisseur	PMMA 8mm d'épaisseur	F0
FC7 : Conserver la pression d'alimentation en air du vérin	Pression d'alimentation	1,5 bar	F1
FC8 : Garantir la robustesse du préhenseur	Limite d'élasticité Coefficient de sécurité	Re=23MPa S=1,2	F0
FC9 : Garantir la fabricabilité du préhenseur	Epaisseur des parois Formes	4mm Droites et cercle	F0



1°/ Etude éléments finis

Vous allez réaliser au travers de cette partie une suite d'itérations visant à concevoir et simuler un nouveau préhenseur ayant les caractéristiques requises par le CdCF présenté précédemment. Pour ce faire, vous allez utiliser le logiciel de CAO Solidworks® et de simulation RDM7®. Pour ce faire, suivez dans l'ordre les étapes suivantes :

Manipulation N°11 : Récupérez dans le dossier « prendre » (COMMUN → MATIERES → DDS → Semestre N°3 → TP N°3 → 1_pince_robot) la maquette numérique de la pince et enregistrez-la dans votre espace personnel.

Manipulation N°12 : Réalisez les modifications nécessaires sur le préhenseur pour répondre au cahier des charges énoncé précédemment. Vous réaliserez les étapes suivantes dans l'ordre et vous les répèterez tant que votre conception ne sera pas optimale. Reportez chacun de vos résultats sur votre document réponses.

Sous Solidworks® :

- Réalisez les modifications de la géométrie du préhenseur.
- Vérifiez la masse de votre préhenseur.
- Vérifiez dans l'assemblage de la pince que le préhenseur se monte correctement sur son support.
- Coupez la pièce selon son plan de symétrie (plan de droite).
- Editez le DXF de votre conception (Fichier → enregistrer sous).

Sous RDM6® :

- Chargez le DXF dans le module de maillage et maillez avec les mêmes conditions que celles de la manipulation N°4.
- Placez les conditions aux limites (efforts, liaisons, symétrie), le matériau et l'épaisseur dans le module « Elasticité – thermique ».
- Lancez le calcul et enregistrez.
- Analysez votre résultat à partir des critères imposés par le CdCF.

Nota N°1 : Il convient pour chaque itération de réaliser deux types d'étude. La première concerne le préhenseur en charge et la deuxième le préhenseur à vide (Cf. paragraphe N°3)

Nota N°2 : Enregistrez votre travail à chaque étape (Solidworks® et RDM6®) sous le nom « modif_pince_iter_n » où « n » représente le numéro de l'itération que vous êtes en train de réaliser.



2°/ Fabrication et test du prototype

Cette partie a pour objectif de confronter les résultats numériques à des mesures expérimentales pour définitivement valider le nouveau préhenseur. Pour ce faire, il convient dans un premier temps de réaliser un prototype fonctionnel de votre conception à l'aide de la découpe laser du laboratoire. Vous installerez dans une deuxième partie votre prototype sur le banc d'essais dédié pour réaliser une série d'essais en situation.

Suivez dans l'ordre les étapes suivantes :

Manipulation N°13 : Editez le DXF complet de votre préhenseur et enregistrez-le sur une clé USB.

Manipulation N°14 : Réalisez le prototype de votre conception à l'aide de la découpe laser et du protocole présent sur le poste de travail dédié.

Manipulation N°15 : Une fois la découpe réalisée, pesez votre prototype à l'aide de la balance mise à votre disposition. Notez la valeur sur votre compte rendu.

Manipulation N°16 : Montez sur le banc d'essais votre prototype. Pour ne pas serrer les vis avec excès, servez-vous du tournevis dynamométrique.

3°/ Etude expérimentale

On se propose à présent de réaliser une suite de mesures expérimentales sur le prototype que vous venez de fabriquer. L'objectif est ici de collecter un ensemble de données qui permettront de valider votre conception et d'établir un bilan sur les performances du nouveau préhenseur.

Manipulation N°17 : Réalisez une série d'essais visant à évaluer les éléments suivants :

- Le poids de la pince
- Le déplacement des mâchoires lors de la fermeture de la pince.
- La force de serrage des mâchoires.
- La résistance de la pince lors des différentes phases de fonctionnement

Nota 1 : Vous devez réaliser pour chaque grandeur une série de trois essais afin de pouvoir vérifier la validité de vos résultats. Vous noterez les valeurs de vos mesures sur votre document réponses.

Nota 2 : Réglez la pression de l'air comprimé du banc d'essai à 1,5 bar afin d'obtenir un effort de sortie de vérin de 21N.

4°/ Analyse des résultats

On se propose d'exploiter au travers de cette partie l'ensemble des données collectées précédemment. Pour ce faire, répondez dans l'ordre aux questions suivantes :

Question N°1 : Comparez les résultats obtenus expérimentalement (moyenne des valeurs mesurées) à ceux obtenus numériquement. Analysez les écarts (amplitudes, causes possibles).



V – Conclusion

Cette dernière partie consiste à réaliser la synthèse de l'ensemble de l'étude d'optimisation que vous avez menée.

Question N°2 : Rédigez une conclusion présentant le travail d'optimisation que vous avez réalisé. Elle doit comporter à minima :

- Rappel des objectifs du TP.
- Présentation de la méthodologie retenue (numérique et expérimentale).
- Intérêts d'utiliser les conditions de symétrie.
- Présentation des performances initiales du préhenseur.
- La présentation de votre conception (forme, matériaux, ...).
- La présentation des résultats obtenus numériquement (efforts, déplacement, répartition des contraintes de Von Mises en charge et à vide).
- La présentation des résultats obtenus expérimentalement.
- Discutez la validité du modèle numérique par rapport à l'expérience.
- Une conclusion sur le gain réalisé et les limites de l'étude.
- Une conclusion quant à la conformité de la pièce.