

Modélisation par la Méthode des Eléments Finis des Contraintes Mécaniques sur un Corps de Charrue à Soc Usuel

Ahmed Nourani ^{1*} Mohamed Bouaziz ²

1. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra, Algérie
2. Laboratoire de mécanique, département génie mécanique, école nationale de polytechnique, Alger (Algérie)

Résumé. Ce travail a pour but de définir la surface active d'un corps de charrue à soc d'une façon précise et sa représentation graphique en 3D, dans notre cas la charrue à soc opté est MAGI, ensuite d'étudier les contraintes mécaniques par la méthode des éléments finis sur leur surface active en utilisant un maillage fin.

L'étude des ces contraintes mécaniques nous a conduit, aussi, à vérifier les conditions de résistance du soc MAGI pour lequel nous disposons de données suffisantes. Elle montre, en adoptant un coefficient de sécurité de 3, qu'une épaisseur de 7,5 mm est suffisante (le soc MAGI étudié a une épaisseur de 10 mm). Il est donc possible de réduire son épaisseur afin de réduire le coût de production.

Mots clés : travail du sol – charrue à soc – Méthode des éléments finis – SolidWorks – contraintes mécaniques.

Modeling the Mechanical Constraints on a mould plough using the Finite Elements Method

Abstract. This work aims to define the moldboard plough body with precision way and its 3D graphic representation, in our case the tool was opted MAGI, then a study of mechanical constraints on their active surface was carried out by the finite elements method using a fine mesh.

The study of these mechanical stresses also led us to verify the resistance conditions of the MAGI share for which we have sufficient data. It shows, by adopting a safety coefficient of 3, that a thickness of 7.5 mm is sufficient (the MAGI ploughshare has a thickness of 10 mm). It is therefore possible to reduce its thickness in order to reduce the cost of production.

Key words: tillage – moldboard plough- finite element method - SolidWorks - mechanical constraint.

1. Introduction

Le travail du sol est l'un de plus important étape dans un itinéraire cultural dont l'objectif principal est de créer un milieu favorable pour le développement de nouvelle culture. Parmi les outils de travail du sol, la charrue à soc qu'est l'outil le plus répandu.

Les pièces travaillantes du corps de charrue à soc évoluent dans le sol qui est souvent très agressif par ses propriétés physicomécaniques. Elles subissent des usures, parfois très importantes, notamment, lorsqu'elles sont utilisées sur des sols abrasifs, et des déformations causées par de mauvais choix des matériaux de construction ou/et des réglages inappropriés. De ce fait, l'analyse des contraintes mécaniques sur le corps de charrues produites pendant le travail est indispensable.

* Corresponding author.

E-mail: nourani83@gmail.com (NOURANI A.).

Address: Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra, Algérie

Dans les références [5] et [23], l'analyse des contraintes est faite en utilisant la méthode des éléments finis sur les surfaces actives projetées à l'aide du logiciel Autocad-Mechanical. Dans celles [20], les auteurs ont utilisé le code ANSYS_5.6 pour créer le maillage. [15] a analysé les prototypes du soc type SONACOME à l'échelle de 1/4, 1/3 et 1/2 par la méthode des éléments finis. Toutes ces références ont analysé les contraintes en se basant sur des surfaces 2D et ont utilisé l'approche d'application du point de force. En outre, les maillages effectués sont relativement de taille grossière.

Ce travail a pour objectif de définir la surface active d'un corps de charrue à soc d'une façon précise et sa représentation graphique en 3D, dans notre cas la charrue à soc opté est MAGI, ensuite d'étudier les contraintes mécaniques par la méthode des éléments finis sur leur surface active en utilisant un maillage fin.

2. Matériel et méthode

Dans ce travail, une charrue à soc fabriqué par l'entreprise de fabrication des machines agricoles et industrielles Rouiba (MAGI) a été optée lorsqu'elle est fabriquée en Algérie et est le plus répandu sur le marché interne. Elle se caractérise par une forme du versoir cylindro-hélicoïdale, cylindrique à l'avant et relativement plat à l'arrière (Fig.01).



Fig.01. Vue de la face de charrue à versoir mixte par MAGI avec le pantographe

2.1. Conception et optimisation du corps de la charrue

Afin de déterminer les différentes coordonnées des points des surfaces actives, le dispositif représenté à la figure (01), a été utilisé au niveau de laboratoire Machinisme Agricole à l'ENSA. Ce dispositif est composé de deux plaques en bois montées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre. La plaque verticale est percée par des trous équidistants entre eux, et à travers lesquels passent des baguettes graduées pour relever les coordonnées. Cependant, il faut prendre en considération que la manipulation sur ce dispositif et l'enregistrement de ces données résultantes est faite manuellement, ce qui entraîne la possibilité d'erreurs pendant les mesures et l'enregistrement.

L'identification des coordonnées des contours et les surfaces actives est effectuée après la définition des différents plans XOY, XOZ et YOZ dans lesquels se trouvent les angles qui caractérisent la charrue.

La détermination des coordonnées est réalisée à l'aide des baguettes graduées et par mesures des points sur la section pour les trois dimensions X, Y et Z représentant respectivement la longueur, la largeur et la hauteur du corps de charrue. Ces sections sont reproduites par le découpage vertical des plans verticaux et la surface gauche de surface active. En effet, ces plans sont distancés entre eux par un intervalle constant, dans notre cas 06 cm (Fig.02).

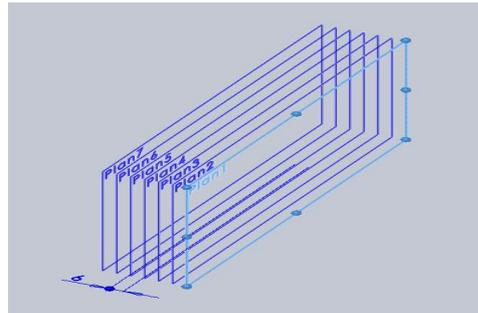


Fig.02. Les plans verticaux de découpage

Après avoir déterminé les coordonnées des bords de la surface active et les sections des plans du versoir, on a esquissé sur chaque plan vertical une courbe correspondant à la ligne de section reproduite par le pantographe à l'aide le logiciel SolidWorks en utilisant les courbes B-Spline pour la modéliser.

2.2. Modélisation les contraintes mécaniques

2.2.1. Méthode utilisée

La méthode des éléments finis est une technique numérique d'analyse de conception. Elle est considérée comme la méthode standard d'analyse du fait de sa généralité et de sa capacité à être traitée par l'informatique. Elle consiste à la discrétisation du modèle étudié en éléments, reliés entre eux par les nœuds. Néanmoins, dans des travaux antérieurs les maillages effectués sont relativement de taille grossière.

Par notre part, Cet travail a porté sur l'étude de corps de charrues MAGI par la méthode des éléments finis avec le code de calcul CosmosWorks sous l'environnement SolidWorks et sur la simulation des forces qu'oppose le sol à l'avancement de la charrue à soc pendant le labour, ensuite, sur les variations de contraintes mécaniques en fonction de quelques paramètres géométriques tels que l'angle d'attaque β , l'angle d'enture α (Figure 3).

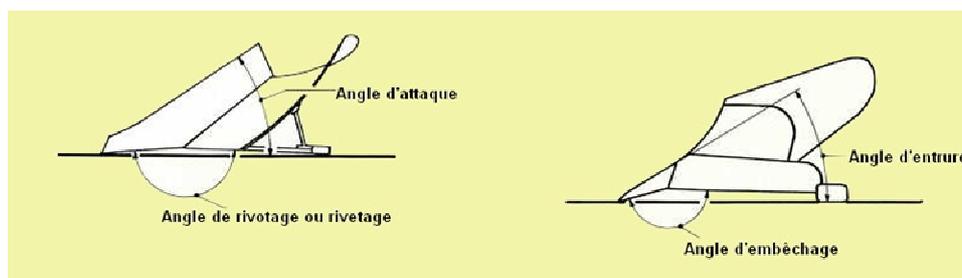


Fig.03. Angles caractéristiques d'une charrue à socs Source: www.motoculture-jardin.com

2.2.2. Détermination les forces agissantes sur le corps de charrue

La charrue à soc subit à une force importante pendant le travail. Plusieurs études ont été munies pour analyser les contraintes mécaniques en se basant sur des surfaces 2D et les auteurs ont utilisé l'approche d'application du point de force. Dans notre étude, nous avons opté de simuler l'approche de la pression de contact bande de terre-surface active afin de définir la zone la plus sollicitée de la surface active.

Nous avons simulé la distribution de la pression du sol sur la surface active en se basant sur des travaux antérieur [13]. A partir de ses résultats, on peut modéliser la distribution de cette pression sous forme d'un polynôme du second degré. A noter que cette formule est nécessaire pour l'application sous CosmosWorks.

$$P(X, Y) = V(A + B \times X + C \times Y + D \times X \times Y + E \times X^2 + F \times Y^2) \quad (1)$$

Où : $P(X, Y)$: amplitude de la pression appliquée en un point de coordonnées x et y

V : est la valeur de pression appliquée dans notre cas $V = 32000$ Pa.

X, Y : coordonnées du point

A, B, C, D, E et F sont des coefficients polynomiaux.

Dans le but de déterminer ces coefficients polynomiaux, nous avons utilisé le résultat expérimental de ces chercheurs.

Le logiciel STATISTICA_6 qui donne la possibilité de programmer des équations, nous a permis de déterminer la fonction (1). La fonction obtenue est caractérisée par un coefficient de corrélation R^2 de 0,92. Elle s'écrit sous la forme :

$$P(X,Y)=V(1,53-2,82.X-2,14.Y+0,71.X.Y+2,20.X^2+ 1,38.Y^2) \quad (2)$$

2.2.3. Choix de Matériaux

La fabrication de charrue à soc se fait avec des métaux résistants à l'usure et en même temps ayant une flexibilité qui le permet de résister aux contraintes provoquées pendant le labour pour éviter la déformation et la rupture des parties travaillantes, notamment le versoir et le soc. Le métal utilisé dans la fabrication de charrue conçue par MAGI est l'acier 45S7 [23], c'est un acier inoxydable qui a une limite d'élasticité d'environ 108 daN/mm² et de Module d'Young de 110 daN/mm². Dans notre étude, on a choisi l'acier **1023** de la bibliothèque de SolidWorks (tôle au carbone), dont les caractéristiques données ci-après sont les plus proches des aciers utilisés en pratique.

Tableau 1. Caractéristique de métal 1023 Tôle d'acier au carbone

Module d'élasticité	205000
Coefficient de Poisson	0.29
Module de cisaillement	80000
Masse volumique	7,858 kg/dm ³
Limite de traction	425.00
Limite d'élasticité	282.69

3. Résultats et discussion

3.1. Conception et optimisation du corps de la charrue

Après avoir relevé les coordonnées de points du contour, l'utilisation du SolidWorks a permis de visualiser les lignes relevées sur le versoir. Ces lignes sont ensuite lissées en courbes de B-Spline en choisissant le principe de l'approximation des points de contrôle (Fig.05)

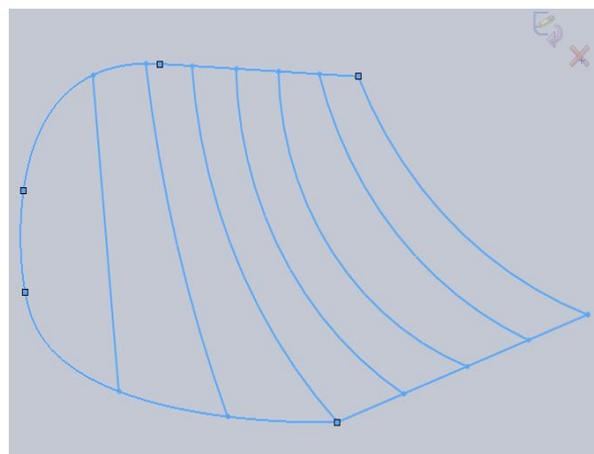


Fig.05. Le nouveau contour et les nouvelles lignes après le lissage

La fonction de *Surface remplie* disponible dans le logiciel SolidWorks, permet de définir les frontières de la surface à réaliser. Dans notre cas, ce sont le contour du versoir. Sous la même fonction, l'option *Contrôle de la courbure* aide à définir la forme de la surface correspondant aux lignes de contrôle établies précédemment.

Après un schéma fourni auprès le constructeur, le versoir MAGI a une épaisseur de 6mm et possède des trois trous au bord inférieur servant à sa fixation sur le sep. La figure 7 illustre une représentation spatiale du versoir.

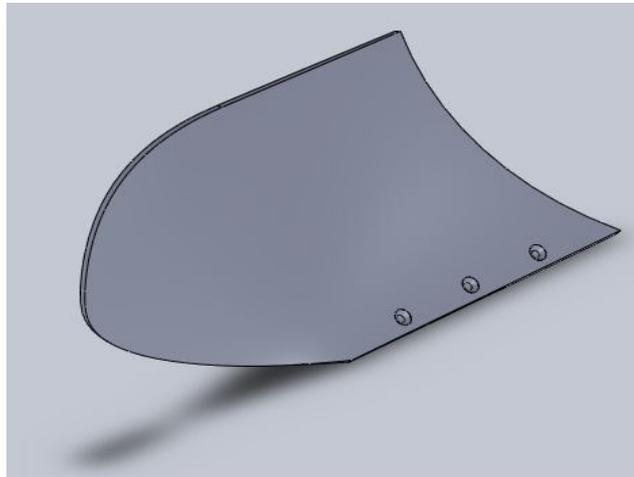


Fig.07. Modèle géométrique du versoir

Le soc est la pièce la plus simple dans le corps de charrue. Plusieurs auteurs ont considéré le soc comme une plaque métallique trapézoïdale inclinée. Cependant, on constate sur les charrues à soc commercialisées que le soc a une courbure légère à son bord supérieur, qui permet à la bande de terre de glisser sur la surface active sans rupture et pour la continuité de la forme avec le versoir, ainsi, à ce niveau, les contraintes tangentielles ne subissent pas de variation brutale dues au mouvement de la bande de terre lors de son soulèvement.

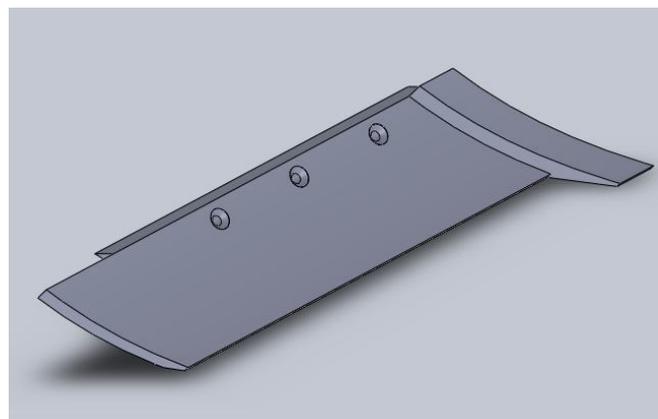


Fig.08. Le modèle géométrique du soc de MAGI

Pour la conception sur SolidWorks du soc MAGI, nous nous sommes inspirés de son dessin de définition donnée sous forme un schéma auprès le constructeur et des points de son contour relevés à l'aide d'un pantographe. Le soc MAGI a une épaisseur de 10 mm. La figure (08) montre son modèle géométrique munie d'une lame carretet.

Le versoir et le soc étant défini, il reste maintenant à les assembler. Le SolidWorks permet cette opération. La figure (09) représente l'outil aratoire où l'on constate la pièce complémentaire jouant le rôle de sep (pour obtenir une forme continue du soc au versoir).

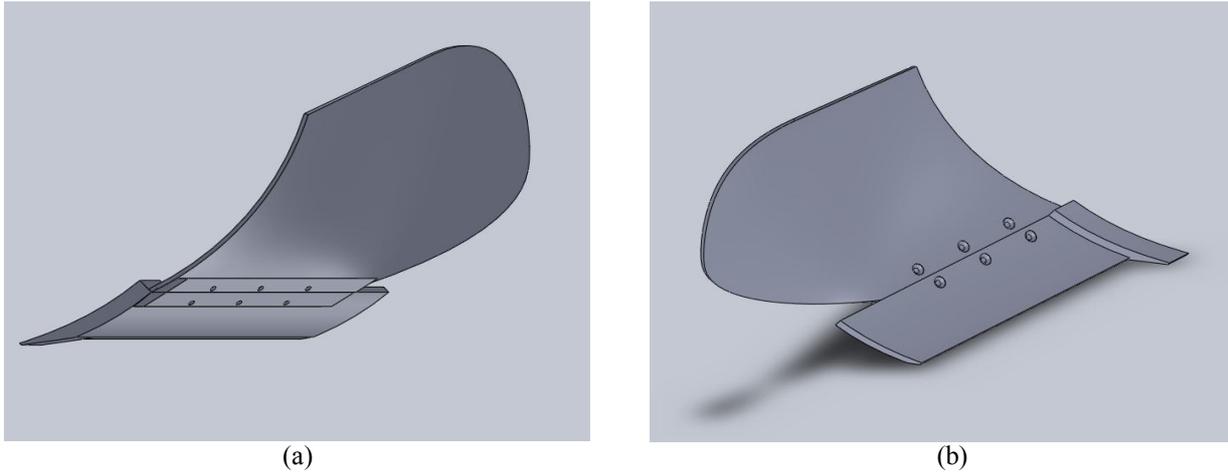


Fig.09. Le modèle géométrique de charrue à soc de MAGI
a) vue arrière; b) vue perspective

3.2. Modélisation les contraintes mécaniques

La figure suivante représente la distribution de la pression sur le corps de charrue où la taille de la flèche correspond à l'intensité de la pression.

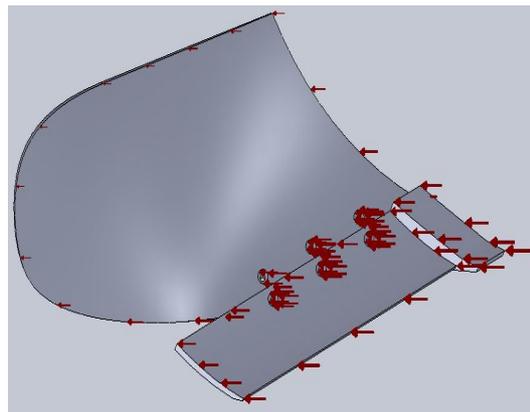


Fig.10. Distribution de la pression sur le corps de charrue

Les figures suivantes montrent les résultats obtenus après l'exécution les analyses:

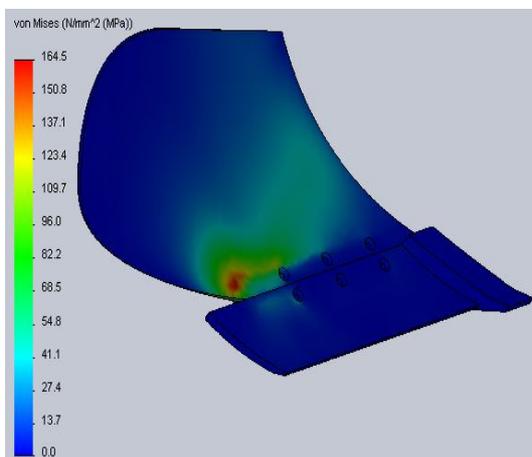


Fig.11. Les contraintes de Von-mises pour la distribution de la pression

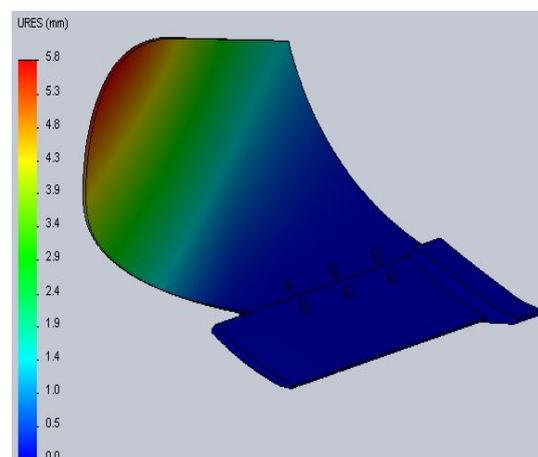


Fig.12. Les déplacements pour la distribution de la pression

Les figures précédentes montrent que la contrainte de Von-mises et les déplacements (déformation) maximaux obtenus sont, respectivement, 164.5 MPa et 5.8 mm. Donc, on remarque que la charrue à soc MAGI est soumise à des contraintes élevées. Ce résultat est logique puisque la superficie de leur surface active est importante (d'environ 0.48m²).

D'après la figure (04), on constate que la pièce travaillante la plus sollicitée dans le corps de charrue est le versoir, particulièrement, dans sa partie arrière au niveau du joint avec le soc, ceci est dû au fait que le versoir a une épaisseur plus fine que celle du soc et probablement, l'existence de la pièce arrière qui assure l'adhérence entre le soc et le versoir.

En ce qui concerne la déformation de la surface active, on constate qu'elle est plus importante à la partie arrière du versoir. En effet, dans cette zone, l'effort de renversement de la bande de terre provoque une flexion de l'extrémité du versoir. Cette flexion est d'autant plus importante que le point d'application de l'effort est éloigné de l'encastrement (ici, l'encastrement se situe aux points de fixation du versoir).

3.3. Influence de l'angle d'attaque β sur les contraintes

Afin de montrer l'influence de l'angle d'attaque sur les contraintes mécaniques, nous avons choisi trois valeurs de cet angle: 22°, 25° et 28°. Ce choix est basé sur les valeurs de Binesse dans [5]. Les figures suivantes présentent la variation des contraintes de charrue MAGI en fonction de β .

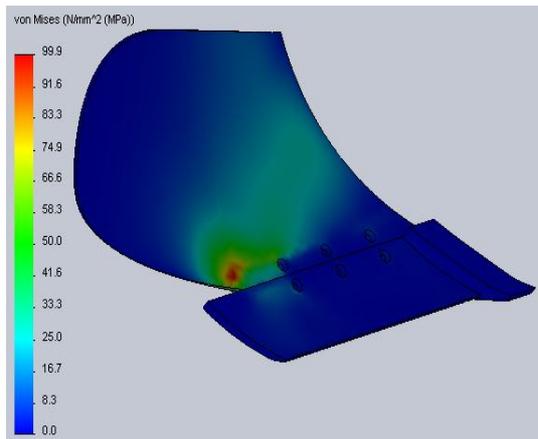


Fig.13. La variation des contraintes suivant $\beta = 22^\circ$

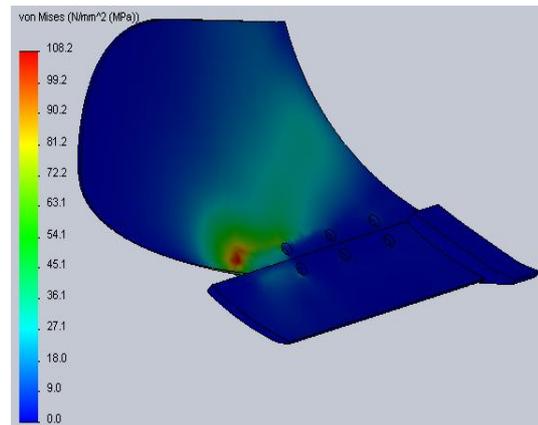


Fig.14. La variation des contraintes suivant $\beta = 25^\circ$

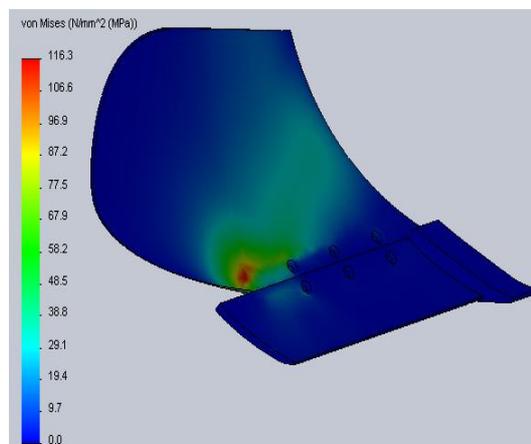


Fig.15. La variation des contraintes suivant $\beta = 28^\circ$

Les contraintes maximales obtenues, en matière d'analyser la variation des contraintes mécaniques en fonction de l'angle d'attaque, sont présentées à la figure suivante.

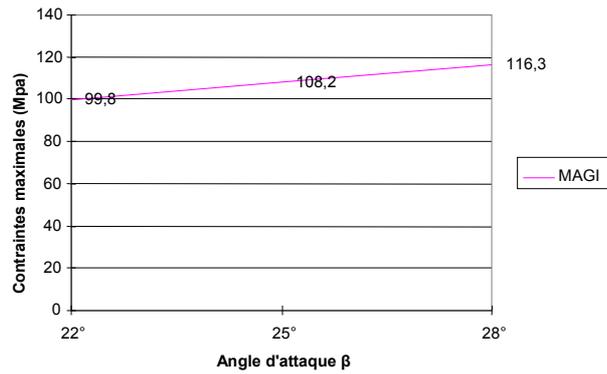


Fig.16. Variation des contraintes maximales suivant l'angle d'attaque β

Elle est linéaire, donc les contraintes maximales varient proportionnellement à l'angle β . Elles sont croissantes puisque l'effort normal augmente avec β .

3.4. Influence de l'angle d'entrure α sur les contraintes

Trois valeurs sont retenues $\alpha = 15^\circ$, 18° et 20° . L'angle d'attaque β est maintenu à 25° . Les figures suivantes montrent les résultats de cette simulation.

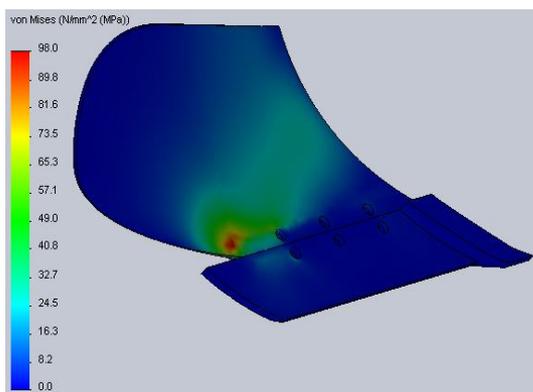


Fig.17. La variation des contraintes suivant $\alpha = 15^\circ$

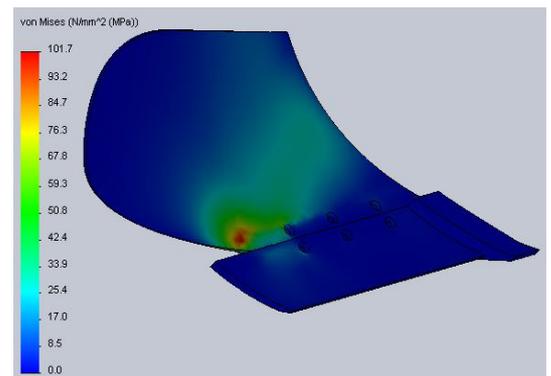


Fig.18. La variation des contraintes suivant $\alpha = 18^\circ$

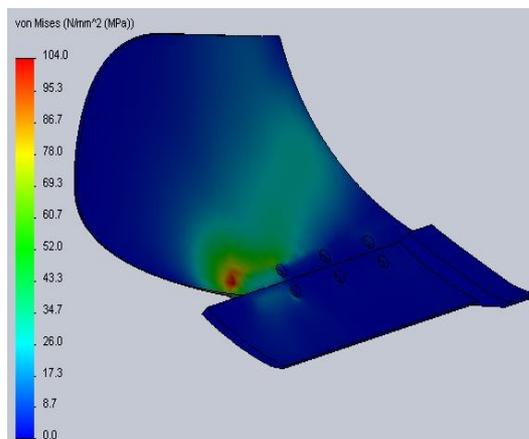


Fig.19. La variation des contraintes suivant $\alpha = 20^\circ$

La variation des contraintes maximales de cette étude est présentée par les courbes de la figure suivante:

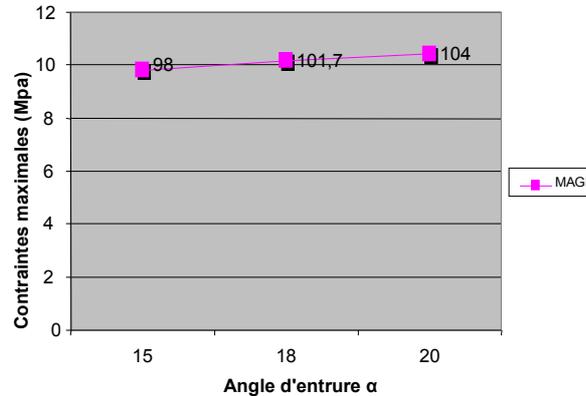


Fig.20. Variation des contraintes maximales selon l'angle d'entrure α

On voit que l'effet de l'angle α est similaire à celui de l'angle β .

En résumé, les contraintes augmentent proportionnellement avec l'augmentation des angles d'attaque β et d'entrure α . Donc, pour $\beta = 22^\circ$ et $\alpha = 15^\circ$, la contrainte est la plus faible dans les domaines de variation de β et α considérés.

4. Conclusion

Pour un corps de charrue à soc cylindro-hélicoïdal, nous avons appliqué la méthode des éléments finis pour étudier les contraintes mécaniques et les déformations résultantes. Ceci a permis d'analyser des résultats obtenus.

Nous avons également étudié l'influence des deux angles caractéristiques de la charrue à soc, à savoir l'angle d'entrure et l'angle d'attaque, sur les contraintes et les déformations. Il en ressort que les contraintes augmentent proportionnellement avec l'augmentation de ces angles.

L'étude de ces contraintes mécaniques nous a conduit, aussi, à vérifier les conditions de résistance du soc MAGI pour lequel nous disposons de données suffisantes. Elle montre, en adoptant un coefficient de sécurité de 3, qu'une épaisseur de 7,5 mm est suffisante (le soc MAGI étudié a une épaisseur de 10 mm). Il est donc possible de réduire son épaisseur afin de réduire le coût de production.

Nous suggérons que ce travail soit poursuivi par une étude expérimentale consistant à définir le sol agricole dans les conditions de labour à partir d'un certain nombre de grandeurs physiques qui reflètent son état mécanique. Il est aussi intéressant d'étudier l'interaction outil-sol qui est indispensable pour comprendre l'écoulement du sol sur la surface active et les forces résultantes de ce phénomène.

5. Remerciements.

Les auteurs tiennent à remercier monsieur Taib hafid pour son soutien durant le travail.

6. Références bibliographiques

- [1] Adolfs Rucins et Arvids Vilde,(2006). Impact of the share inclination angle on the plough body draft resistance. *Zemdirbyste / Agriculture*, 93(4): 166-179.
- [2] Adolfs Rucins et Arvids Vilde,(2005). Modelling forces acting on the plough body. Simulation in Wider Europe // Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation. Riga-Latvia, pp 414-419.

- [3] Aguilar M.A., Aguilar F.J., Agüera F., Carvajal F., (2005). The evaluation of close-range photogrammetry for the modelling of mouldboard plough surfaces. *Biosystems Engineering*, Vol. 90 (4), pp. 397-405.
- [4] Amara M., Guedioura I., Moussaoui N., (2008). Analysis of the application of Gorjatchkin and Gee Clough Models for the predicting the two shapes of ploughshare efforts. *Agricultural Journal*, 3(3) : 225-228.
- [5] Amara M., (2007). Contribution à la modélisation interface outils aratoires sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps des charrues à socs et des outils à dents. Thèse doctorat d'état en science agronomiques. ENSA (Ex : INA)- El-Harrach (Alger).
- [6] Amara M. et Couchert J. P., (2007). Modelling of active surfaces of the share plough. *Agricultural Journal*, 2 (3) : 434-440.
- [7] Arvids Vilde and Adolfs Rucins, (2008). Simulation of the impact of the soil friction on the draft resistance of the plough body. *Proceedings 22nd European Conference on Modelling and Simulation*.
- [8] Batoz J. L., Dhatt G., (1990). Modélisation des structures par éléments finis. Edition Hermès, Paris
- [9] Bentaher H., Katchev G. Maalej A., Arnold W., (2005). Optimisation énergétique du travail de sol par charrues polysocs: 1-conceptions des socs. *Congrès internationales de la mécanisation agricole*, Tunisie, pp 53-61.
- [10] Berrouck A. S., (2002). Modélisation et simulation numérique par la méthode des éléments finis de la déformation du sol agricole sous l'action de la surface active d'une charrue à socs. *Mémoire de magistère*, ENSA, El-Harrach (Alger), pp. 124.
- [11] Craciun V., Leon D., (1998). An analytical method for identifying and designing a moldboard plow surface. *Transactions of ASAE*, Vol. 41(6), pp. 1589-1599.
- [12] Fielke J. M., (1999). Finites elements modelling of interaction of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of Agriculture Engineering Researches*, 74(1): 91-102.
- [13] Formato A., Faugno S., Paolillo G., (2005). Numerical simulation of soil-plough mouldboard interaction. *Biosystems Engineering*, 92(3): 309-316.
- [14] Godwin R.J., O'Dogherty M.J., (2007). Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*, Vol.44, pp. 3-14
- [15] Houyou Z., (1998). Contribution à la modélisation de l'interface outils aratoires-sol. Analyse de l'influence de la forme de deux corps de charrue à soc sur l'effort de résistance à la traction. *Mémoire de magistère*, ENSA, El-Harrach, Alger, pp. 119.
- [16] Koichi Shoji, (2001). Forces on a model 'spot plough'. *Journal of Agriculture Engineering Researches*. Vol. 79 (3), pp. 283-298.
- [17] Ravinson N.M. et Destain M.F., (1994). Parametric cubic equations for modelling mouldboard plough surface. *Soils and Tillage Researches*, 31: 363-373
- [18] Richey S. B., Srivastava A. K., Segerlind L. J., (1989). The use of three dimensional computers graphics to design mouldboard plough surface. *Journals of Agricultural Engineering Research*. 43(3):245-258
- [19] Ros, V., Smith R.J., Marley S.J., Erbach D.C., (1995). Mathematical modeling and computer-aided designs of passive tillage tools. *Transaction of ASAE*, 38: 675-683
- [20] Saks, E.; Heinloo, M. (2001). Stresses and Displacements in a Semidigger Mouldboard and a Ploughshare. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 2 (2), 223-236.
- [21] Saunders C., Godwin R.J., O'Dogherty M.J., (2001). Prediction of Soil Forces Acting on Mouldboard Ploughs. *Fourth International Conference on Soil Dynamics*, Adelaide, Australia.
- [22] Shrestha D.S., Singh G., Gebresenbet G., (2001). Optimizing design parameters of a mouldboard plough. *Journals of Agricultural Engineering Research*, 78: 377-389.
- [23] Taib A., (2007). Contribution à l'analyse de la forme des pièces travaillantes des outils aratoires. Cas d'un corps de la charrue à soc. *Mémoire d'ingénieur d'état*, ENSA El-Harrach, (Alger).