
Soumis le : 10 Février 2011
 Forme révisée acceptée le : 16 Décembre 2011
 Email de l'auteur correspondant :
 mah_amara@yahoo.fr

Approche Méthodologique d'Analyse des Caractéristiques géométriques des surfaces actives de deux corps de charrue à versoirs.

Mahfoud AMARA*, Mohamed BAKEL*

**Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Laboratoire de Machinisme et Agroéquipements, El-Harrach, Alger, Algérie*

Résumé

Tenant compte de la variabilité spatiale des sols agricoles algériens, le choix de la forme des outils aratoires pour la mise en place d'une culture est souvent délicat à réaliser. Un mauvais choix se répercutera sur la qualité des opérations de travail du sol et indirectement sur le rendement des cultures. Des résultats sur l'effet des formes des surfaces actives des corps de charrue à versoirs sur les indices qualitatifs des labours ont montré l'importance de ce choix. Avant de choisir la forme adéquate, il est plus que nécessaire de savoir caractériser les surfaces actives des pièces travaillantes des outils aratoires (Amara M. et al. 2007). C'est dans ce contexte que ce travail a été réalisé.

Ce travail est donc une approche méthodologique de l'étude des deux formes de surfaces actives de deux corps de charrue à versoir, les plus fréquemment utilisés en Algérie. Il s'agit des charrues fabriquées par les entreprises Société Algérienne pour la Construction pour la Réforme Agraire et l'Entreprise Nationale de Production de Matériel Agricole.

Pour éviter, les concepts mathématiciens souvent très complexes à la compréhension des ingénieurs agronomes, deux méthodes simples sont choisies pour la caractérisation de ces surfaces des corps de charrue à versoirs. La première, est la méthode statistique qui consiste à utiliser les principes des régressions polynomiales linéaires, la seconde est celle des courbures paramétriques de Bézier.

Les résultats obtenus ont permis de montrer la variation des angles caractéristiques en relation avec les trois directions spatiales et de définir les équations de contour des surfaces actives.

La partie avant du corps de charrue ENPMA a une courbure plus accentuée que celle de SACRA, à la partie arrière la surface active de SACRA est beaucoup plus courbe que celle de l'ENPMA. Cette remarque permet de classer les deux formes en surface cylindrique pure pour la forme SACRA et culturale pour ENPMA.

Mots clés : forme, corps de charrue, versoirs, angles, surface active, contours, courbure.

Abstract

Taking into account the spatial variability of agricultural soil in Algeria, the choice of the agricultural tools form for the development of culture is often difficult to achieve. A bad choice will affect the quality of tillage operations and indirectly on the crop yield. Results on the forms effect of active surfaces of the body of the mouldploughs ploughing qualitative indices have shown the importance of this choice. Before choosing the appropriate form, it is necessary to know that characterize the active working surfaces parts of agriculture tools (Amara M. and al. 2007). It is in this context that this work was done.

This work is a methodological approach to the study of two types of surfaces of two sets of plough, the most frequently used in Algeria. These ploughs manufactured by companies SACRA and ENPMA.

To avoid the mathematical concepts are often very complex to the understanding of agricultural engineers, two methods are chosen to characterize the surfaces of these bodies. The first one is that the statistical method is to use the principles of linear polynomial regressions; the second is the parametric curves of Beziers.

The results obtained have shown the variation of angles characteristics in relation to the three spatial directions and define the contour surfaces equations.

The front part of the plow body ENPMA has a steeper curvature than SACRA; the rear surface active SACRA curve is much more than the ENPMA. This remark can be classified into two forms. Cylindrical form for SACRA shape and cultural for ENPMA shape.

Keys words: Shape, body of plough, forms, mouldploughs, angles, active surface, contours, and curve.

Notations	
h	.....hauteur du corps de charrue, mm.
l	.....longueur du corps de charrue, mm.
α	.....angle d'entrure du soc, degrés.
γ	.....angle d'attaque du soc, degrés.
θ	..... angle de courbure de la surface active, degrés.
R^2	..... coefficient de détermination statistique
p	..... probabilité statistique
A_s	..... angle α pour la forme SACRA
A_b	..... angle α pour la forme ENPMA
T_s	..... angle θ pour la forme SACRA
T_b	..... angle θ pour la forme ENPMA
G_s	..... angle γ pour la forme SACRA
G_b	..... angle γ pour la forme ENPMA

1. Introduction

La préparation du sol est un des éléments clés de la réussite d'une culture. Le sol doit être bien travaillé pour que les racines de la plante mise en place, puissent s'y installer rapidement et puiser facilement tous les éléments nutritifs nécessaires à son développement. Les techniques de préparation du sol et plus particulièrement, les labours, sont aussi très exigeantes en énergie.

La forme de la surface active du corps de charrue joue un rôle très important sur les indices qualitatifs des labours, ainsi que sur l'effort de résistance à la traction (Amara M. et al. (2007)).

Pour atteindre ces objectifs, notamment, l'obtention d'un bon profil cultural acceptable et l'optimisation des besoins en énergie, plusieurs paramètres doivent être pris en considération. Celui auquel nous nous intéresserons dans ce travail est le choix de la forme de la surface active des versoirs des corps de charrue. Le versoir est en effet un élément déterminant dans le choix d'une charrue. Le type de sol, le système de culture de l'exploitation et le climat sont des éléments déterminants qui nous permettent de choisir le versoir adapté à chaque exploitation.

La complexité des nombreuses surfaces actives des corps de charrue à socs pose souvent problème quand à leur choix pour la réalisation des labours dans des conditions de travail souvent variables.

L'identification de la surface active d'un corps de charrue à socs en vue de son optimisation et de son adaptation à des conditions de labour bien définies, passe inévitablement par une étude analytique permettant de

quantifier mathématiquement la géométrie du soc et du versoir.

Tenant compte de leurs importances, nous reproduisons dans ce qui suit, de façon synthétisée, les travaux de Craciun V. et Leon D. (1998) qui font ressortir, après une étude de plusieurs travaux entre autres ceux de Bernacki (1972); Câproui et al. (1982); Richey et al. (1989); Ros V. et al. (1993), les différentes étapes de cette méthode analytique en faisant ressortir les principales caractéristiques du soc et du versoir d'un corps de charrue. Les points de départ utilisés pour la conception d'une surface d'un corps de charrue à socs sont :

- Les dimensions d'une bande de terre travaillée,
- les dimensions et la position du soc,
- la position et l'équation de la courbe directrice,
- l'équation de la génératrice
- la projection sur le plan vertical - transversal de la surface du corps de la charrue.

Selon les données mentionnées ci-dessus, on obtient tous les éléments géométriques de la forme de la charrue, à savoir :

- les coupes de la surface active dans l'espace,
- les projections de la surface dans le repère Oxyz,
- les équations pour les sections transversales sur les différents plans (vertical longitudinal, transversal, perpendiculaire à la partie affûtée du soc)

D'un point de vue géométrique, la surface active d'un corps de charrue à socs de forme cylindroïdale, sans les calculs des éléments ci-dessus, ne peut pas être développée. Cependant, afin de concevoir la surface active complexe du corps de charrue à partir d'une surface plane, celle-ci doit être déformée à une température élevée. Pour cela, il est nécessaire de définir initialement la forme de la surface plane à déformer pour obtenir la forme voulue de la surface active du corps de charrue en tenant compte des déformations du matériau lors de son travail.

Bernacki, (1972) a défini un algorithme qui peut être utilisé pour calculer les coordonnées de plusieurs points du contour de la pièce plane utilisée avant déformation pour la réalisation de la surface active du corps de charrue.

La description analytique de la surface active d'un corps de charrue à socs, proposée par Craciun V. et Leon D. (1998), peut donc être entièrement déterminée par les dimensions de la bande de terre, de sa position et de l'équation de la courbe directrice, dans notre cas, la courbe de la variation de l'angle d'inclinaison (θ). Les équations mathématiques que ces auteurs ont présentées permettent une description géométrique facile et complète pour le concepteur de la forme d'un corps de charrue à socs. Ces travaux concernent uniquement les formes relativement simples des versoirs cylindriques, ceci

s'explique par la régularité de la courbure suivant la génératrice principale de la surface.

Pour ce qui est des autres formes, notamment celles hélicoïdales ou mixtes, la quantification des surfaces actives, par des équations devient plus complexe.

Enfin l'intérêt de l'étude réalisée par Craciun et Léon est surtout la méthodologie appliquée qui consiste en une décomposition de la surface active et une analyse des coordonnées des différents points de son contour. Il est cependant nécessaire de la compléter par une analyse mécanique, voir une analyse de la position du point d'application de l'effort de résistance à la traction qu'oppose la bande de terre à l'avancement du corps de charrue à soc. C'est l'un de nos objectifs que nous aborderons au chapitre relatif à la modélisation de la surface active des corps de charrue fabriqués par la SONACOME et SACRA où une autre méthode sera proposée.

En résumé, la conception d'une surface active d'un outil aratoire, doit nécessairement tenir compte des objectifs recherchés quant à la transformation d'un état initial du sol en un état final escompté. L'analyse du comportement du sol sous l'action d'un outil aratoire, dans notre cas la charrue à soc, est donc indispensable à cette conception.

La quantification et la caractérisation de la forme de la surface active d'un versoir, qui sont les objectifs principaux de ce travail, ont un intérêt pratique pour le concepteur qui doit réaliser une surface permettant à l'agriculteur d'obtenir ou tout au moins approcher les objectifs agronomiques escomptés lors de la première opération de la préparation du sol (voir un bon retournement de la terre, un bon enfouissement des résidus de récoltes et enfin une bonne régénération de la structure du sol) sans pour autant négliger le côté énergétique. La forme à concevoir doit permettre en effet une consommation d'énergie la plus faible possible. A cet effet l'analyse des surfaces actives et plus particulièrement leurs quantifications deviennent nécessaires.

Actuellement des techniques de calcul plus précises et plus performantes sont possibles en utilisant les possibilités graphiques 3D des outils informatiques. Ces techniques sont basées sur l'utilisation des équations paramétriques qui permettent la modélisation complète de la forme des outils tels que les surfaces actives des corps de charrue à socs.

A l'état actuel des recherches avec les possibilités que nous offre les moyens informatiques, les méthodes qui nous semblent les plus appropriées pour l'analyse et l'amélioration de la forme des surfaces actives gauches des outils aratoires, comme celles des corps de charrues à versoirs, sont les méthodes utilisant les régressions polynomiales et les courbes paramétriques de Bézier.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels

Pour nos essais, notre choix a porté sur deux corps de charrue à versoirs les plus couramment utilisés sur les exploitations agricoles algériennes. Les projections sur les trois plans de travail des surfaces actives, sont illustrées sur les figures suivantes :

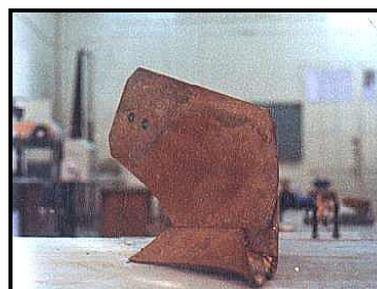


Figure 1 : Forme ENPMA (vue de face YOZ)

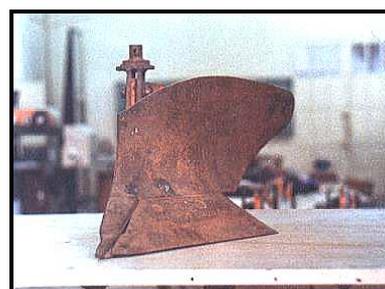


Figure 2 : Forme SACRA (vue de face YOZ)

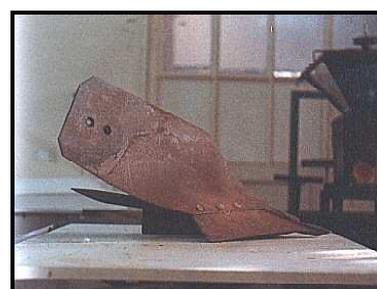


Figure 3 : Forme ENPMA (vue latérale XOZ)

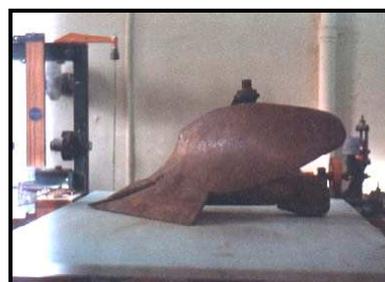


Figure 4 : Forme SACRA (vue latérale XOZ)

Les principales caractéristiques géométriques des deux corps de charrue sont consignées dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : caractéristiques constructives des deux corps de charrues.

Corps de charrue	ENPMA	SACRA
Forme du soc	carrelet	carrelet
Hauteur du corps h (mm)	440	425
Longueur projetée l (mm)	940	740
Largeur b (mm)	350	310
Angle d'entrure (α_0)	29	17
Angle d'attaque (γ_0)	38	39
Angle d'inclinaison (θ_0)	35	33
Angle de monté de la bande de terre (β_0)	40	48

Ces deux formes de corps de charrue sont fabriquées à partir de moules réalisés eux-mêmes à partir de formes existantes sans aucune prise en considération des conditions de sol où elles seront utilisées.

2.2. Méthode de caractérisation des surfaces actives.

Les projections des surfaces actives des deux corps de charrues ont été réalisées à l'aide d'un profilographe conçu au laboratoire de machinisme agricole (fig.5).

Les corps de charrues sont placés suivant leurs plans de travail sur un support mobile dans le sens vertical, en face du profilographe composé d'un mécanisme directeur à coulisseau, muni à sa base d'une pointe mobile qui suit les différentes courbures de la surface active du corps de charrue.

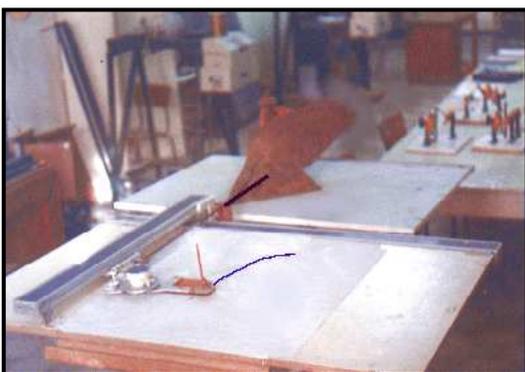


Figure 5 : Dispositif de réalisation des projections (profilographe)

Ce dispositif a permis l'obtention des coordonnées des surfaces actives et de leurs projections sur lesquelles ont été déterminés les valeurs des angles caractéristiques α , γ

et θ . La délimitation de ces angles est illustrée sur la figure 6.

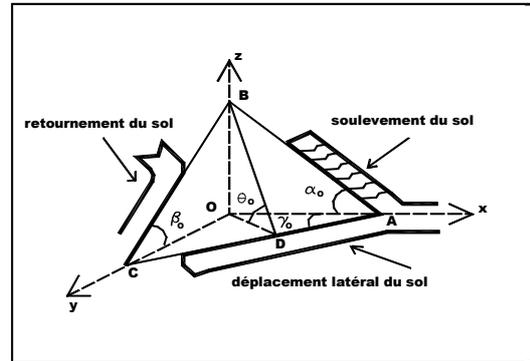


Figure 6 : Tétraèdre simulant l'action du corps de charrue à soc, montrant les angles caractéristiques de la surface active.

Les principales étapes de l'étude de ces formes de surfaces actives sont respectivement :

- Projections des deux surfaces à l'aide du profilographe.
- Sur les courbes obtenues, une analyse de la variation des angles en relation avec la hauteur (h) et la longueur (l) par la méthode des régressions linéaires polynomiales du second degré, a été réalisée.
- Attribution de modèles mathématiques quantifiant la variation des différents angles. Cette variation est la cause principale de la déformation de la bande de terre.
- Analyse des contours réels des deux surfaces actives et leurs optimisations par la méthode des courbes paramétriques de Bézier.
- Analyse des courbures moyennes par la méthode de Gauss.

Afin de mettre en relation et comparer la variation de ces trois angles avec la hauteur du corps de charrue et de sa longueur, nous avons adopté la méthode des régressions polynomiales du second degré. Cette méthode permet de quantifier les variations des angles en proposant des équations mathématiques simples à analyser. Ceci d'une part.

D'autre part, à l'état actuel des recherches et avec les possibilités que nous offrent les moyens informatiques, la méthode qui nous semble la plus appropriée pour l'analyse et l'amélioration de la forme des surfaces actives gauches des outils aratoires comme celles des corps de charrues à socs, est la méthode des courbes de Bézier. Cette méthode permet de corriger la forme des contours et donc des caractéristiques des surfaces actives des outils aratoires, la précision de cette méthode réside dans le nombre d'itérations prises entre deux valeurs consécutives. Les courbures des contours obtenus

permettent de quantifier et de rectifier les surfaces actives pour une amélioration des indices qualitatifs et une optimisation des besoins en énergie lors des labours.

Pour plus de précision nous avons également utilisé le modèle de Gauss, plus complexe mais beaucoup plus précis, pour illustrer les surfaces actives par des courbes moyennes qui traduisent clairement le déplacement de la bande de terre sur la surface active suivant les trois plans de travail.

3. 3. Résultats et analyses

3.1. Analyse de la variation des angles caractéristiques α , γ et θ

Les résultats obtenus sur la variation des trois angles principaux caractérisant les surfaces actives des deux corps de charrue sont consignés sur les tableaux suivants où les valeurs des angles sont données en degrés.

Tableau 2: Variation de l'angle α en relation avec la hauteur(h) du corps de charrue

h (mm)	40	80	120	160	200	240	280	320	360
ENPMA	29	30	39	45	57,5	68,5	76,5	80	83
SACRA	17,5	47	52,5	68	75	85	86	88,5	90

Tableau 3 : Variation de l'angle γ en relation avec la hauteur(h) du corps de charrue

h (mm)	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290
ENPMA	39	39	39	39	40,5	43	43,5	44	45	45	47
SACRA	40	40	41	41,5	42	42	43	43,5	43,5	43	43

Tableau 4: Variation de l'angle θ en relation avec la hauteur(h) du corps de charrue

h (mm)	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310
ENPMA	38	43	46,5	51	55	60	62	64	67	70,5	74	75
SACRA	35	58	65	66,5	72	75	76,5	85	87	89	92	94

Tableau 5 : Variation de l'angle γ en relation avec la longueur (l) du corps de charrue

l (mm)	0	60	120	180	240	300	360
ENPMA	44,36	43,88	42,63	42,46	42,71	44,8	45,79
SACRA	43,85	43,85	43,85	43,85	43,85	43,85	43,85

Tableau 6 : Variation de l'angle θ en relation avec la longueur (l) du corps de charrue

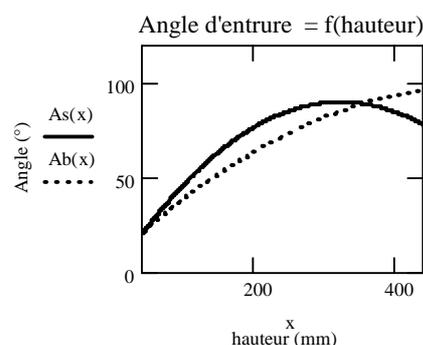
l (mm)	0	60	120	180	240	300	360
ENPMA	61	61	62	65	72	73	75
SACRA	67	67	67	67	67	67	67

Les équations obtenues ci- dessous représentent la variation des angles en fonction de la hauteur du corps de

charrue. L'axe des X sur la représentation graphique représente respectivement, x (longueur du corps), y (largeur du corps) et z (la hauteur du corps).

L'analyse statistique, par la méthode des régressions polynomiales, de la variation des angles caractéristiques des surfaces actives des deux formes de corps de charrue à socs a donné les résultats suivants :

-Variation de l'angle d'entrure α en fonction de la



hauteur h

$$\alpha_{SACRA} = -0,46 + 0,56 h - 8,72 \cdot 10^{-4} h^2 \quad R^2 = 0,98$$

$$p < 0,0001$$

$$\alpha_{ENPMA} = 8,45 + 0,34 h - 3,21 \cdot 10^{-4} h^2 \quad R^2 = 0,97$$

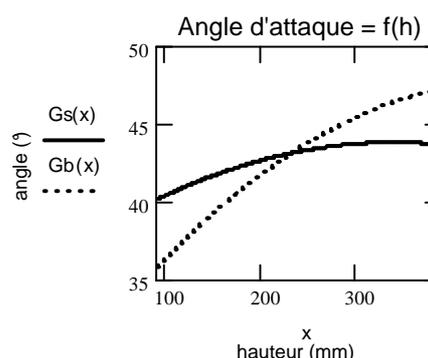
$$p < 0,0001$$

Figure 7 : Variation de l'angle d'entrure α en fonction de la hauteur du corps de charrue

-Variation de l'angle d'attaque γ en fonction de la hauteur h

$$\gamma_{SACRA} = 37,02 + 0,04 h - 5,9 \cdot 10^{-5} h^2 \quad R^2 = 0,97$$

$$p < 0,0001$$



$$\gamma_{ENPMA} = 29,28 + 0,08 h - 8,7 \cdot 10^{-5} h^2 \quad R^2 = 0,98$$

$$p < 0,0001$$

Figure 8 : Variation de l'angle d'attaque γ en fonction de la hauteur du corps de charrue

-Variation de l'angle d'attaque θ en fonction de la hauteur h

$\theta_{SACRA} = 6,75 + 0,53 h - 8.2 \cdot 10^{-4} h^2 \quad R^2 = 0,94$
 $p < 0.0001$

$\theta_{ENPMA} = 16,78 + 0,29 h - 3.0 \cdot 10^{-4} h^2 \quad R^2 = 0,98$
 $p < 0.0001$

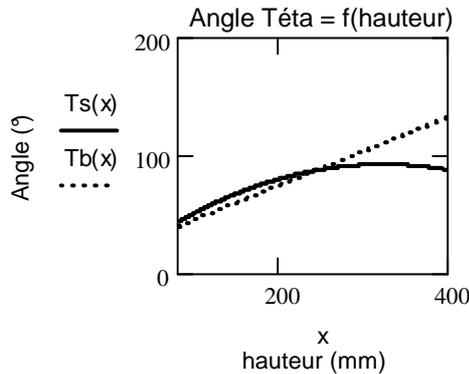


Figure 9 : Variation de l'angle d'attaque θ en fonction de la hauteur du corps de charrue

L'analyse de la variation de ces angles met en évidence que la courbure de la surface active de forme SACRA est plus accentuée que celle de la forme ENPMA.

Tableau 7 : valeurs des coordonnées des points du contour SACRA

x	0	2,5	8	10,5	12	13	15,5	16,8	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5
y	0	0	0	0	0	0	2	4	6	8	10	12	14
z	0	2	4	6	8	10	12	14	15	15,5	16	16	16
x	23,5	25	25,5	24,5	23,5	21,5	19,5	17,5	15	14,5	14	7	0
y	16	18	19	17	16	14	11,5	11	12	12	14	7	0
z	16	15,5	14	10	8	6	4	3	2	2	0	0	0

Tableau 8 : Valeurs des coordonnées des points du contour ENPMA

x	0	5	9	11	12	14	15	16	16,5	18	20,5	23	25,5
y	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	10	14
z	0	1,5	3	4	5	6,5	8	10	13	14,5	16	18	20
x	27,5	29	30	29,5	26,5	23	20,5	17	16,5	11,5	8	5	0
y	16	18	19,5	19	17	14	12	9	10,5	7,5	5	3	0
z	21,5	19,5	15	13	10	7,5	5,5	3	0	0	0	0	0

Ceci permet de prévoir un retournement de la bande de terre plus important et par conséquent un meilleur enfouissement des résidus végétaux ainsi qu'un meilleur émiettement. (ENPMA ou SACRA).

Les coefficients de détermination R^2 sont tous supérieurs à 0,94 avec une probabilité inférieure à 0,05. Les équations obtenues sont donc très significatives.

3.2. Analyse des contours des surfaces actives

3.2.1. Projections des contours par la méthode des courbes de Bézier

Cette méthode permet l'optimisation de la forme du contour de la surface active des corps de charrues à socs. Cette méthode est aussi intéressante car elle permet de limiter la surface de pression.

En appliquant cette méthode pour les surfaces actives des corps de charrues étudiés d'échelle 1/3 nous obtenons les surfaces projetées suivantes : (les coordonnées des contours ont été obtenues avec le profilographe, Tableau 7 et 8).

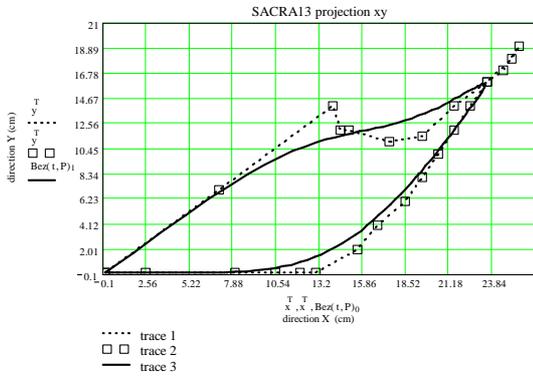


Figure 10 : Projection sur le plan XOY du contour par la méthode de Bézier- SACRA

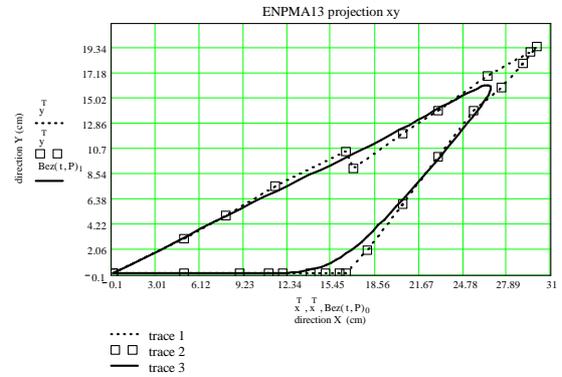


Figure 13 : Projection sur le plan XOY du contour par la méthode de Bézier- ENPMA

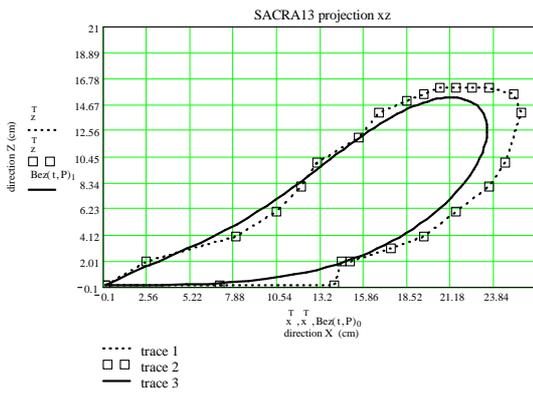


Figure 11 : Projection sur le plan XOZ du contour par la méthode de Bézier- SACRA

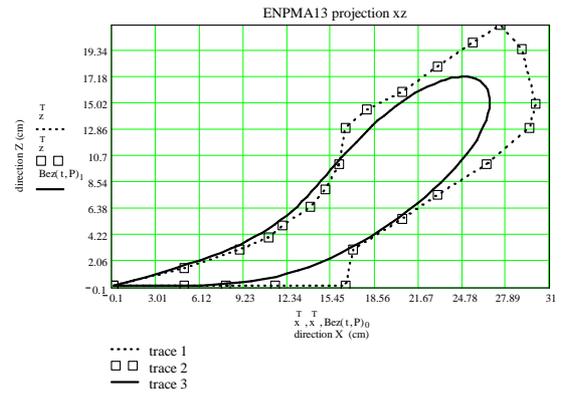


Figure 14 : Projection sur le plan XOZ du contour par la méthode de Bézier- ENPMA

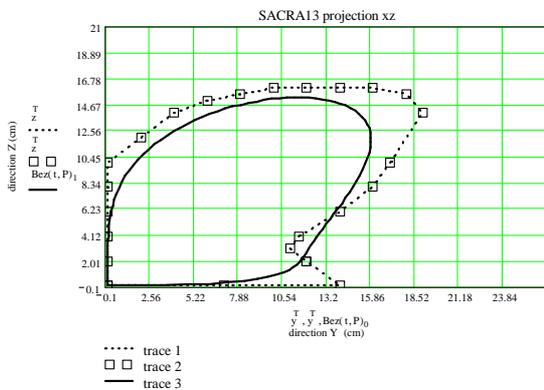


Figure 12 : Projection sur le plan YOZ du contour par la méthode de Bézier- SACRA

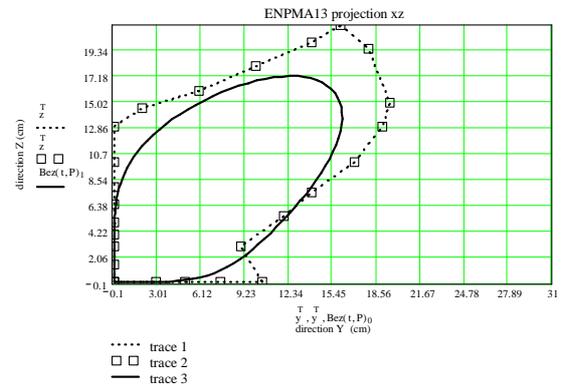


Figure 15 : Projection sur le plan XOZ du contour par la méthode de Bézier- ENPMA

3.3. Analyse des courbures moyennes par la méthode de Gauss.

3.3.1. Analyse des courbures moyennes des surfaces actives des deux formes de corps de charrues.

Le modèle mathématique choisi, pour l'obtention de ces courbures moyennes des surfaces actives est celui de GAUSS, car il permet de voir le mode de distribution des points de la surface active avec plus de précision, ce modèle est de la forme :

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} \cdot e^{-\frac{2(x-x_c)^2}{w^2}}$$

Avec :

y_0 : ligne de base (assimilé au fond de labour ou partie inférieure du corps de charrue).

w : 2σ , approximativement 0.849 de la largeur de la courbe à mi-hauteur (σ écart type).

A : Surface délimité par la courbe et l'axe des abscisses.

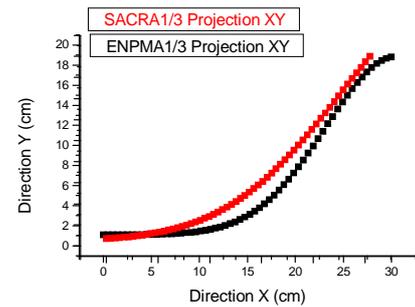
x : valeurs observées (suivant la direction de travail soit X ou Y selon la projection).

x_c : valeur moyenne des valeurs observées.

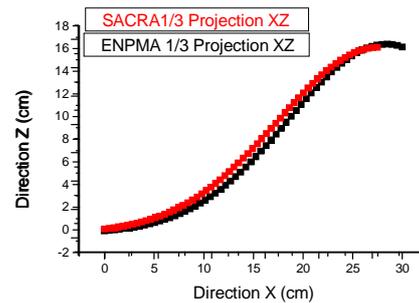
Tableau 9 : valeurs des différents coefficients du modèle de Gauss

Forme	Projection	Y_0	X_c	w	A	Chi ²
SACRA	XY	0,44	33,95	22,41	655,28	13,56
	XZ	0,28	25,64	18,84	310,69	20,25
	YZ	3,47	37,26	41,86	606,1	38,34
ENPMA	XY	1,07	30,58	14,77	328,74	9,71
	XZ	-0,33	28,38	19,57	409,74	17,88
	YZ	4,82	26,49	18,71	363,94	39,71

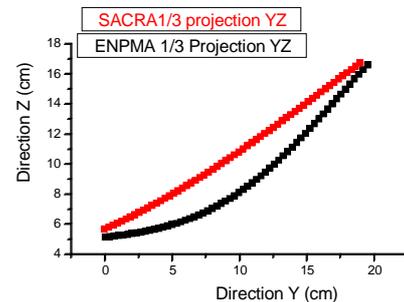
Ces représentations permettent de comparer avec plus de précision les courbures des surfaces actives des deux corps de charrue à socs et d'en déduire le comportement du sol pendant le travail. Cette analyse a permis l'obtention des courbes comparatives suivantes :



(a)



(b)



(c)

Figure 16 : Comparaison des courbures des surfaces actives des deux corps de charrue. (a) projection sur le plan XY, (b) projection sur le plan XZ et (c) projection sur le plan YZ

Ces représentations graphiques montrent que la bande de terre est plus sollicitée par la surface active du corps de charrue de forme ENPMA, notamment sur les plans XOY et XOZ. Sur le plan XOZ, C'est ce qui définit le retournement de la bande de terre qui devra être plus important sous l'action de la forme ENPMA. Les courbures sont relativement les mêmes pour les deux formes.

4. Conclusions

Les équations obtenues sont toutes affectées de coefficients de détermination R^2 supérieurs 0,94 avec p inférieur à 0,05 ; les modèles mathématiques sont donc hautement significatifs.

Les surfaces obtenues après optimisation par la méthode de Bézier sont réduites, gain de matière et réduction de la surface de pression sur le sol, ce qui réduirait considérablement la valeur de l'effort de résistance à la traction.

Les courbures moyennes obtenues avec le modèle de Gauss, illustrent correctement la différence entre les deux formes de surfaces, le comportement du sol sous l'action de ces deux formes sera donc différente.

Ces résultats permettront à l'ingénieur agronome de choisir correctement la forme de versoir à utiliser dans des conditions de sol prédéfinies pour approcher les objectifs qualitatifs attendus lors du labour, à savoir un bon retournement de la bande de terre, donc un bon enfouissement des résidus végétaux. Cela permettra également de prévoir l'effort nécessaire pour la réalisation du labour et de choisir en conséquence la puissance du tracteur à utiliser. Pour le concepteur et le fabricant des outils aratoires, ce travail est une base nécessaire pour l'obtention de formes adéquates des surfaces actives.

Références bibliographiques

- [1] Amara M., 2007. Contribution à la modélisation interface outils aratoires-sol optimisation de la forme et l'effort de résistance à la traction des corps de charrues à socs et des outils à dents. Thèse de doctorat. INA-El-harrach. Alger. 220 p.
- [2] Amara M., Bourarach E.H., Guedioua I. (2007): Modélisation de l'Effort de Résistance à la Traction d'un Outil Aratoire Simple. Influence de la vitesse, de l'humidité du sol et des caractéristiques géométriques angulaires. Sciences & Technologie B – N°26, décembre (2007), 73-77. Université Mentouri Constantine
- [3] Bernacki (1972) : Agricultural Machines, Theory and construction, Vol. 1 : 162-168. Springfield, III : Nat. Technical Information Service.)
- [4] Câproui et al. (1982) : Tillage Machines, Sowing Machines and Machines for Crop Protection Didactic and Pedagogical Publishing House, Bucharest Romania
- [5] Craciun V. et Leon D. (1998) : An Analytical Method for Identifying and Designing a Moldboard Plough Surface. Transactions of the ASAE, vol. 41 (6):1589- 1599 , Michigan, USA.
- [6] Richey et al. (1989) : The use of Three Dimensional Computer Graphics to Design Moldboard Plough Surfaces. Journal of Agricultural Engineering Research. 43, 245-258, UK.
- [7] Ros V. et al., 1993 : Analysis of a Tillage Tool Geometry. ASAE Paper nr 93, St.Joseph, Mich., USA.