

ANALYSE DE L'APPLICATION DES MODELES DE GORJATCHKIN ET DE GEE CLOUGH POUR L'EVALUATION DE L'EFFORT DE RESISTANCE A LA TRACTION DE DEUX FORMES DE CORPS DE CHARRUES A SOCS

AMARA M.⁽¹⁾, GUEDIOURA I.⁽¹⁾, MOUSSSAOUI N.⁽¹⁾,

⁽¹⁾ Institut National Agronomique, El-Harrach,
Laboratoire de machinisme m.amara@ina.dz

RESUME

L'évaluation de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol, avec ses propriétés physico – mécaniques, à l'avancement d'un corps de charrue à soc fait l'objet, de plusieurs travaux de recherche dont les résultats aboutissent à la présentation de plusieurs modèles mathématiques.

Ces modèles introduisent souvent les propriétés du sol, notamment sa résistance spécifique et sa masse volumique. L'analyse de ces modèles montre que les caractéristiques géométriques des surfaces actives ne sont cependant pas prises en considération. L'objectif de cet article est de montrer que le choix du modèle à utiliser pour une évaluation de l'effort de résistance à la traction a une importance quand la précision de calcul est recherchée. Pour cela deux modèles ont été choisis le premier est celui proposé par Gorjatchkin, le second celui proposé par Gee Clough. Les relations obtenues entre les efforts mesurés et calculés avec ces modèles sont respectivement :

$$F_{t_{ENPMA}} = 5,049 + 1,726F_{t_{Gee}} - 0,725F_{t_{Gor}} \quad \text{et} \quad F_{t_{SACRA}} = -18,793 + 0,240F_{t_{Gee}} + 1,461F_{t_{Gor}}$$

A travers ces deux relations, nous préconisons le modèle de Gorjatchkin pour la forme SACRA et Gee Clough pour la forme ENPMA

Mots clés : Effort de résistance à la traction, modèle Gorjatchkin, modèle Gee Clough, corps de charrue à socs.

م ا ل خ ص

تقيم جهد مقاومة الدفع لسكة محراث كانت موضوع أبحاث عديدة توصلت لعدة نماذج رياضية تدمج في كثير منها خصائص التربة. لكن تحليل هذه النماذج يظهر أن الخصائص لهندسية للمحراث غير مأخوذة بعين الاعتبار. الهدف من هذا العمل هو تبين ان اختيار نموذج لتقييم قوة مقاومة الدفع له أهمية في حالة البحث عن دقة الحساب. لهذا السبب اخترنا نموذجان الاول Gorjatchkin والثاني Gee Clough.

العلاقات المحصلة عليها هي

$$Ft_{Enpm} = 5,049 + 1,726Ft_{Gee} - 0,725Ft_{Gor} \text{ et } Ft_{Sacra} = -18,793 + 0,240Ft_{Gee} + 1,461Ft_{Gor}$$

من خلال العلاقتين ننصح باستعمال نموذج Gorjatchkin لشكل SACRA و نموذج Gee Clough لشكل ENPMA.

كلمات مفتاح : قوة جر , نموذج Gorjatchkin, نموذج Gee Clough, محراث.

ABSTRACT

The evaluation of the draft which the soil opposes, with its physical and mechanical properties for the advance of a share plough is the several research task object whose results lead to the presentation of several mathematical models.

These models often introduce the properties of the ground, particularly its specific resistance and its density. The analysis of these models shows that the geometrical characteristics of active surfaces are not taken into account. The objective of this article is the choice of the model to be used for an evaluation of the draft has an importance when the precision of calculation is required. For that, two models were selected. The first is that proposed by Gorjatschkin, the second one proposed by Gee Clough. The relations between measured and calculated draught are:

$$Ft_{Enpma} = 5,049 + 1,726Ft_{Gee} - 0,725Ft_{Gor} \text{ et } Ft_{Sacra} = -18,793 + 0,240Ft_{Gee} + 1,461Ft_{Gor}$$

Through these two relations, we recommend the Gorjatschkin model for the form SACRA and Gee Clough model for form ENPMA.

Key words : Draught, Gorjatschkin Model, Gee Clough Model, Plough Mouldboard.

1. INTRODUCTION

L'une des préoccupations des agriculteurs est l'évaluation de la consommation en énergie pour la mise en place d'une culture donnée. Pour cela plusieurs méthodes sont proposées, parmi elles nous en retiendrons celle du réservoir plein qui est une méthode directe mais peu précise et celle de l'évaluation de l'effort de résistance à la traction. C'est cette dernière qui est retenue pour notre travail.

Durant ces dernières années plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour prévoir les caractéristiques et les performances des outils aratoires et de leurs actions sur le sol. Ces modèles sont de deux types, le premier à deux dimensions qui concerne les outils dits simples telle que les lames et les socs des outils à dents ; le second type à trois dimensions, est relatif aux outils à surfaces complexes telle que les charrues à socs.

En général la validité de ces modèles a été établie en comparant les prévisions avec les résultats expérimentaux souvent obtenus sur un canal de traction.

Plusieurs auteurs ont abordé le problème de l'évaluation de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement d'un outil aratoire. Suite à ces travaux plusieurs modèles mathématiques ont été proposés. Nous citerons à titre d'exemple, entre autres les modèles de BINESSE (1970), OSKOUI et al (1982), et de GAO QIONG et al, (1986).

Pour leurs simplicités, les modèles les plus utilisés pour calculer les efforts de résistance à la traction sont respectivement celui de Gorjatchkin et celui de Ge e Clough.

$$Ft = fG + kab + \varepsilon abv^2 \text{ (Gorjatchkin)}$$

avec : Ft = effort de résistance à la traction (N).

f = coefficient de résistance au roulement
($0.29 < f < 0.50$).

G = poids de la charrue (N).

a = profondeur de travail (m).

b = largeur de travail en (m).

v = vitesse d'avancement (m / s).

ε = coefficient de forme du versoir ($\text{daN.s}^2 / \text{m}^4$)

k = coefficient de résistance spécifique du sol (N / m^2).

Pour les charrues actuelles qui sont portées, la première partie (f.G) du modèle de Gorjatschkin, sera négligée, nous retiendrons donc pour nos calculs : $Ft = kab + \varepsilon abv^2$

$$Ft = ab \left(13,30 \gamma a + 3,06 \gamma \frac{v^2}{g} \right) \text{ (Gee Clough)}$$

avec : Ft = effort de résistance à la traction (KN)

a = profondeur de travail (m)

b = largeur de travail (m)

γ = masse volumique du sol (KN / m³)

v = vitesse d'avancement (m / s)

g = constante de gravité (m / s²)

Ces deux modèles introduisent la profondeur (a) et la largeur (b) de travail du labour, la vitesse d'avancement et les caractéristiques du sol ; pour Gorjatchkin c'est la résistance spécifique du sol (k) par contre Gee Clough introduit la densité apparente du sol (γ).

Gorjatchkin introduit un paramètre de forme ε , des surfaces actives, qui est souvent très difficile à déterminer ses valeurs étant comprises entre 1500 et 2000 daN.s² / m⁴.

2. MATERIELS ET METHODES

Afin de mettre en évidence l'effet de la forme des surfaces actives sur l'effort de résistance à la traction, Les essais ont été réalisés sur un canal de traction avec des modèles réduits d'échelle un demi, de deux corps de charrue à socs fabriqués en Algérie, la forme SACRA et la forme ENPMA. (Tab.1).

Les raisons de ce choix sont la recherche de la maîtrise des caractéristiques physico – mécanique du sol pour éviter toute interaction de ces effets sur l'effort de résistance à la traction. Les efforts sur canal ont été déterminés avec précision à l'aide de capteurs d'effort extensiométriques (fig.1).

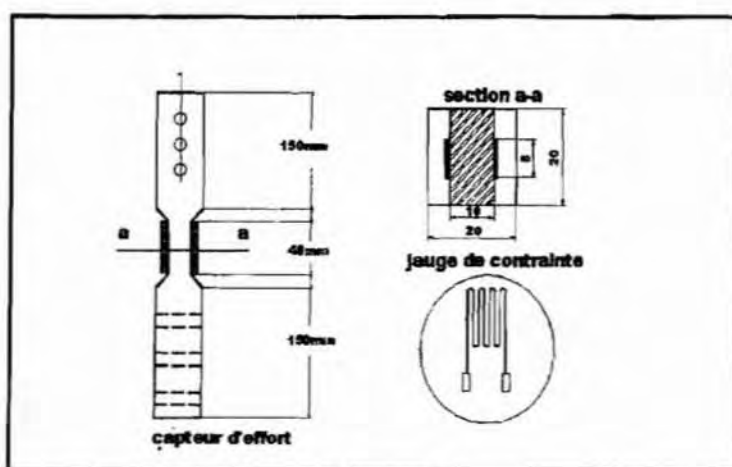


Figure 1 : Schéma du capteur d'effort

Tableau 1: Caractéristiques géométriques des deux modèles réduit de corps de charrue

| Corps de charrue | ENPMA | SACRA |
|---|-------------|-------------|
| Forme du soc | Trapézoïdal | Trapézoïdal |
| Hauteur du corps h (mm) | 220 | 218 |
| Longueur projetée l (mm) | 470 | 460 |
| Largeur b (mm) | 150 | 150 |
| Angle d'entrure α (°) | 29 | 17 |
| Angle d'attaque γ (°) | 38 | 39 |
| Angle d'inclinaison θ (°) | 35 | 33 |
| Angle de monté de la bande de terre β (°) | 40 | 48 |

Les conditions de travail dans lesquelles ont été réalisés les essais sont respectivement :

Densité apparente du sol : $d_a = 150 \text{ kN} / \text{m}^3$

Résistance spécifique du sol : $k = 18000 \text{ N} / \text{m}^2$

Largeur de travail des corps de charrue est la même et est de : $b = 0,15 \text{ m}$

Trois profondeurs de travail ont été choisies, elles sont respectivement de $a = 0,07$, $0,09$ et $0,12 \text{ m}$.

Pour ce qui est du calcul de l'effort de résistance à la traction avec le modèle de Gorjatchkin deux valeurs de ϵ ont été prises. La première de $1500 \text{ N s}^2 / \text{m}^4$ pour le versoir SACRA qui est de forme cylindrique et $1750 \text{ N s}^2 / \text{m}^4$ pour le versoir ENPMA qui a une tendance culturale. La variation du coefficient de forme n'est pas très significative sur la valeur de l'effort calculé avec le modèle de Gorjatchkin, en effet dans les conditions de nos essais, si nous considérons l'effort calculé à la profondeur de 0,12 mètres et à la vitesse de $0,15 \text{ m} / \text{s}$ et que la variation de ϵ passe de $1000 \text{ N s}^2 / \text{m}^4$ à $2000 \text{ N s}^2 / \text{m}^4$ la variation de l'effort sera de 32,44 daN à 32,48 daN. Cette variation est la même pour les deux formes de surfaces actives. Le choix de la valeur de ce coefficient n'aura donc pas une très grande influence sur l'analyse.

3. RESULTATS

Les résultats des valeurs des efforts de résistance à la traction mesurés sur canal et calculés à l'aide des modèles de Gorjatchkin et de Gee Clough sont repris sur les tableaux suivants (tableaux 2 et 3).

Tableau 2 : Valeurs comparées des efforts mesurés sur canal et calculés avec Gorjatchkin et Gee Clough pour la forme SACRA

| F_{tSACRA} (daN) | a (m) | v (m/s) | ϵ (Ns^2/m^4) | F_{tGOR} (daN) | F_{tGEE} (daN) |
|--------------------|---------|-----------|---|------------------|------------------|
| 11,85 | 0,07 | 0,04 | 1500 | 18,90 | 14,67 |
| 13,2 | 0,07 | 0,05 | 1500 | 18,90 | 14,68 |
| 12 | 0,07 | 0,07 | 1500 | 18,91 | 14,69 |
| 12,5 | 0,07 | 0,15 | 1500 | 18,94 | 14,77 |
| 22,44 | 0,09 | 0,04 | 1500 | 24,30 | 24,25 |
| 21,52 | 0,09 | 0,05 | 1500 | 24,31 | 24,25 |
| 22,2 | 0,09 | 0,07 | 1500 | 24,31 | 24,27 |
| 24,12 | 0,09 | 0,15 | 1500 | 24,35 | 24,38 |
| 41,11 | 0,12 | 0,04 | 1500 | 32,40 | 43,11 |
| 40,79 | 0,12 | 0,05 | 1500 | 32,41 | 43,11 |
| 38 | 0,12 | 0,07 | 1500 | 32,41 | 43,13 |
| 35,98 | 0,12 | 0,15 | 1500 | 32,46 | 43,28 |

F_{tSACRA} : Effort mesuré sur canal pour la forme SACRA

F_{tGOR} : Effort calculé avec le modèle Gorjatchkin

F_{tGEE} : Effort calculé avec le modèle Gee Clough

Tableau 3 : Valeurs comparées des efforts mesurés sur canal et calculés avec Gorjatchkin et Gee Clough pour la forme ENPMA

| F_{tENPMA} (daN) | a(m) | v(m/s) | ε (Ns ² /m ⁴) | FtGOR (daN) | FtGEE (daN) |
|--------------------|------|--------|--|-------------|-------------|
| 13,55 | 0,07 | 0,04 | 1750 | 18,90 | 14,67 |
| 11,8 | 0,07 | 0,05 | 1750 | 18,90 | 14,68 |
| 12,1 | 0,07 | 0,07 | 1750 | 18,91 | 14,69 |
| 29,3 | 0,07 | 0,15 | 1750 | 18,94 | 14,77 |
| 33,28 | 0,09 | 0,04 | 1750 | 24,30 | 24,25 |
| 27,5 | 0,09 | 0,05 | 1750 | 24,31 | 24,25 |
| 26,26 | 0,09 | 0,07 | 1750 | 24,31 | 24,27 |
| 30,49 | 0,09 | 0,15 | 1750 | 24,35 | 24,38 |
| 54,6 | 0,12 | 0,04 | 1750 | 32,40 | 43,11 |
| 55 | 0,12 | 0,05 | 1750 | 32,41 | 43,11 |
| 55,4 | 0,12 | 0,07 | 1750 | 32,41 | 43,13 |
| 59 | 0,12 | 0,15 | 1750 | 32,46 | 43,28 |

F_{tENPMA} : Effort mesuré sur canal pour la forme ENPMA

4. DISCUSSIONS

4.1. Analyse comparative des valeurs mesurées et calculées de l'effort

Les premières observations montrent que les efforts calculés sont de même valeurs pour chacun des modèles, celles-ci sont supérieures pour le modèle de Gee Clough. Les valeurs mesurées sur canal de traction sont différentes de celles calculées et plus importantes pour la forme ENPMA. Il apparaît donc que le choix du modèle pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction doit se faire en relation avec la forme de la surface active.

L'analyse des résultats (tableau 2 et 3) ci-dessus montre que pour la première profondeur de travail, les efforts mesurés sur canal sont inférieures à celles calculées à l'aide des modèles. Pour la deuxième profondeur les efforts calculés sont les mêmes que celles mesurées pour la forme ENPMA

et qui sont supérieures à celles calculées et à celles mesurées de la forme SACRA. Pour la troisième profondeur, il est à remarquer que les valeurs mesurées pour la forme ENPMA sont plus importantes et celles mesurées pour SACRA et sont supérieures aux valeurs calculées à l'aide du modèle de Gorjatchkin.

Afin de choisir correctement le modèle approprié pour l'évaluation correcte de l'effort de résistance à la traction, une analyse statistique des résultats est réalisée.

4.2. Analyse des corrélations entre les efforts calculés et mesurés

Les valeurs des coefficients de corrélation r entre les efforts mesurés sur canal et ceux calculés à l'aide des modèles de Gorjatchkin et Gee Clough sont représentés sur le tableau suivant (tableau 4) :

Tableau 4 : Matrice de corrélation entre les différentes valeurs des efforts

| | Ft_{Enpma} | Ft_{Gee} | Ft_{Gor} | Ft_{Sakra} |
|--------------|--------------|------------|------------|--------------|
| Ft_{Enpma} | - | - | - | - |
| Ft_{Gee} | 0,9631 | - | - | - |
| Ft_{Gor} | 0,9594 | 0,9974 | - | - |
| Ft_{Sakra} | 0,9493 | 0,9907 | 0,9919 | - |

L'analyse de ce tableau montre, une très bonne corrélation entre les différentes valeurs des efforts de résistance à la traction.

4.3. Etablissement des relations entre les efforts calculés et mesurés

Afin d'analyser l'ordre d'importance des liaisons entre les valeurs mesurées et celles calculées avec les modèles, nous avons choisi la méthode des régressions multiples pour chacun des efforts mesurés pour les deux formes de surfaces actives. Les tableaux 5 et 6 représentent les résultats de l'analyse pour la forme ENPMA, les tableaux 7 et 8, ceux de la forme SACRA.

Tableau 5 : Analyse de régression multiple pour $Ft_{Enpma} = f(FtGor, FtGee)$

| Variable à expliquer : FtEnpma | | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Paramètre | Estimation | Erreur Type | Probabilité |
| Constante | 5,049 | 47,838 | 0,9183 |
| FtGee | 1,726 | 1,807 | 0,3643 |
| FtGor | - 0,725 | 3,848 | 0,8546 |

$R^2 = 92,77 \%$

R^2 ajusté = 91,17%.

Tableau 6 : Analyse de variance $Ft_{Enpma} = f(FtGor, FtGee)$

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Probabilité |
|----------------------|-------------------------|------------|--------------------|----------|--------------------|
| Modèle | 3225,03 | 2 | 1612,51 | 57,81 | 0,0000 |
| Résidu | 251,022 | 9 | 27,89 | | |
| Total (Corr.) | 3476,05 | 11 | | | |

Le tableau 5 montre les résultats de l'ajustement d'un modèle de régression linéaire multiple pour décrire la relation entre Ft_{Enpma} et les deux variables explicatives $FtGor$ et $FtGee$. L'équation du modèle ajusté est :

$$Ft_{Enpma} = 5,049 + 1,726FtGee - 0,725FtGor$$

Comme la valeur de la probabilité dans le tableau 6 est inférieure à 0.01, il y a une relation statistiquement hautement significative entre les variables au niveau de confiance de 99%.

Pour déterminer si le modèle peut être simplifié, noter que la plus grande valeur de probabilité pour les variables explicatives est de 0,8546, et est associée à $FtGor$. Comme la valeur de la probabilité est supérieure ou égale à 0.10, l'effort calculé avec le modèle de Gorjatchkin, n'est pas statistiquement significatif au niveau de confiance de 90% ou plus. Ainsi, nous pouvons envisager de supprimer $FtGor$ du modèle. Ce qui signifie que pour le corps de charrue ENPMA, le modèle de Gee Clough sera donc choisi pour avoir des valeurs de l'effort plus proche de la réalité.

Tableau 7 : Analyse de régression multiple pour $Ft_{Sacra} = f(FtGor, FtGee)$

| Variable à expliquer : FtEnpma | | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Paramètre | Estimation | Erreur Type | Probabilité |
| Constante | -18,793 | 14,491 | 0,2269 |
| FtGee | 0,240 | 0,547 | 0,6709 |
| FtGor | 1,461 | 1,165 | 0,2415 |

$R^2 = 98,42 \%$

R^2 ajusté = 98,07 %

Tableau 8 : Analyse de variance $Ft_{Sacra} = f(FtGor, FtGee)$

| Source | Somme des carrés | Ddl | Carré moyen | F | Prob |
|---------------------|-------------------------|------------|--------------------|----------|-------------|
| Modèle | 1438,54 | 2 | 719,27 | 281,04 | 0,000 |
| Résidu | 23,03 | 9 | 2,56 | | |
| Total (corr) | 1461,57 | 11 | | | |

Le tableau 7 montre les résultats de l'ajustement d'un modèle de régression linéaire multiple pour décrire la relation entre Ft_{Sacra} et les deux variables explicatives FtGor et FtGee. L'équation du modèle obtenu est :

$$Ft_{Sacra} = -18,793 + 0,240FtGee + 1,461FtGor$$

Comme le cas précédent, la valeur de la probabilité dans le tableau 8 est inférieure à 0.01, il y a une relation statistiquement significative entre les variables au niveau de confiance de 99%. D'autre part, les valeurs de probabilité du tableau 7, le modèle de Gorjatchkin sera utilisé pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction exigé par la forme SACRA.

CONCLUSIONS

Hormis le modèle de KUCZEWSKI (1978), les autres modèles proposés sont basés sur le principe de la pression outil / sol. Ce principe reste valable pour des surfaces actives planes qui sont qualifiées de formes simples, mais ne l'est pas pour les pièces travaillantes à surfaces actives complexes comme les charrues à socs.

Plusieurs travaux de recherches importants (Nichols et Kummer, 1932; DONER et NICHOLS, 1934; GAO et al, 1986) ont été réalisés pour décrire la surface active des versoirs et classer les forces produites pendant l'exécution du labour ainsi que la relation de ces forces avec les propriétés dynamiques du sol.

Plusieurs modèles prédisant l'effort de traction pour la charrue LARSON et al., 1968; GEE CLOUGH et al,(1978) ont été donc développés sur la base de l'analyse dimensionnelle. OSKOUI et al, (1982) ont proposé un modèle spécifique en adaptant la formule développée par GORJATCHKIN et SOHENE, 1960, tenant compte de l'effet de l'angle d'enture (α) et en prenant le cône index du sol comme base de mesure de la force.

Si les caractéristiques angulaires des pièces travaillantes des outils aratoires simples, comme les socs des cultivateurs à dents, ont fait l'objet d'une analyse de leurs effets sur l'effort de résistance à la traction par DESBIOLLES et al, (1997), les caractéristiques géométriques des surfaces actives des corps de charrues à socs ont rarement fait l'objet de tels travaux.

Si les angles et les dimensions des surfaces actives des corps de charrue à socs ont été étudiés, c'est uniquement dans le cadre de la description de ces pièces travaillantes ou dans celui de leurs effets sur les indices qualitatifs ROSS et al, (1995), leurs effets sur l'effort de résistance à la traction n'a cependant pas été étudié.

Au travers de ces résultats de notre travail, il apparaît que :

- Les valeurs mesurées sont différentes des valeurs calculées avec les modèles de Gorjatchkin et de Gee Clough.
- Les valeurs des efforts de résistance à la traction obtenus avec le modèle de Gorjatchkin sont plus grandes pour la première profondeur (0,07 m) que celles obtenues avec le modèle de Gee Clough.
- A la deuxième profondeur (0,09 m), les valeurs des efforts de résistance à la traction sont pratiquement les mêmes pour les deux modèles.
- A la troisième profondeur (0,12 m), les efforts sont plus importants quand ils sont calculés avec le modèle Gee Clough.

D'autre part, quand la précision de la consommation en énergie est recherchée, le choix du modèle à utiliser pour calculer l'effort de résistance à la traction doit faire l'objet d'une attention particulière. Dans notre cas, pour les corps de charrue fabriqués en Algérie, nous préconisons le modèle de Gorjatschkin pour la forme SACRA et Gee Clough pour la forme ENPMA ou d'une façon générale pour les versoirs à tendance cylindrique nous utiliserons le modèle de Gorjatchkin et pour le versoirs à tendance culturale nous proposerons le modèle de modèle Gee Clough.

Enfin pour une évaluation précise de la consommation en énergie des opérations de travail du sol, il sera intéressant d'établir des modèles mathématiques de l'effort de résistance à la traction en tenant compte, en plus des propriétés physico - mécaniques du sol, des caractéristiques géométriques des pièces travaillantes, notamment les caractéristiques angulaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BINESSE M., 1970.-** Cisaillement et résistance spécifique du sol lors du labour classique. Etudes du CNEEMA, n°341-342 – France.
- DESBIOLLES J.M.A., GODWIN R.J., KILGOUR J., BLACKMORE B.S., 1997.-** A novel approach to the prediction of tillage tool using a standart Tine. Journal of Agricultural Engineering Research, (1997), **66**, 295 – 309.
- DONER, R.D. and NICHOLS, M.L. , 1934.-** The Dynamic Properties of Soil V. Dynamics of Soil on Plow Mouldboard Surfaces Related to Scouring. Journal of ASAE, Vol 15, n°1: 9-13.
- GAO QIONG ET AL., 1986.-** A Model to Predict Soil Forces on the Plough Mouldboard. Journal of Agricultural Engineering Research 35, p.141-155.
- GEE CLOUGH, D.G. et al., 1978.-** The empirical prediction of tractor implement field performance. J. Terramechanics, 15 (2) : 81-94
- GORJATCHKIN, V.P. et SOHENE, 1960.-** Collected Works in Three Volumes. Ed. N. D. Luchinskii. Translated 1972. Jerusalem, Israel: Ketter Press.
- KUCZEWSKI J., 1978.-** Eléments Théoriques des Machines Agricoles. Edition Varsovie Pologne.
- LARSON, L. W. et al., 1968.-** Predicting draft forces using mouldboard plows in agricultural soils. Transaction of ASAE, 11: 665-668.
- NICHOLS, M.L. and KUMMER, T. H., 1932.-** The Dynamic Properties of Soil IV. A Method of Analysis of Plow Moldboard Design Based Upon Dynamic Properties of Soil. Agricultural Engineering 13(11)279-285.
- OSKOUI K.E. et al., 1982.-** The Determination of Plough Draught. Part II. The Measurement and Prediction of Plough Draught for Two Mouldboard Shape in Three Soil Series. Journal of Terramechanics, 19, p. 153-164.
- ROSS V. et al., 1995.-** Mathematical Modeling and Computer Aided Design of Passive Tillage Tools. Transaction of ASAE, vol. 38 n° 3, p. 675-683.