

## MODELISATION DE L'EFFORT DE RESISTANCE A LA TRACTION EN RELATION AVEC LES CARACTERISTIQUES D'USURE DES SOCS D'UN CULTIVATEUR A DENTS

AMARA M. <sup>(1)</sup> et BENCHABLA F. <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE  
Dépt du Génie Rural, El-Harrach Alger  
[m.amara@ina.dz](mailto:m.amara@ina.dz)

### RESUME

Cet article a pour objet d'évaluer l'effort de résistance à la traction des cultivateurs à dents en relation avec l'état d'usure des socs. Pour quantifier ce phénomène un modèle mathématique de l'effort de résistance à la traction en relation avec les caractéristiques d'usure des socs est établi. Ce modèle permettra de déterminer la limite d'usure acceptable avant de changer les socs du cultivateur.

Le modèle obtenu est :  $Ft = e^{-3,18} \left( \frac{v^2}{g.H} \right)^{-0,052} . \alpha^{1,56} . \theta^{4,36} . g.d . H^3$  , a montré que

les caractéristiques d'usure ont un effet sur l'effort. L'effet de l'angle de pointe  $\theta$  est plus important. Les résultats ont montré que les socs du cultivateur sont à changer à partir d'une hauteur  $H = 9,36$  cm et un angle de pointe de 33,5 degrés. A partir de ces valeurs, l'effort demandé est presque double, il passe de 46,79 daN à 90,26 daN pour une variation de 0,02 cm pour  $H$  et de 5,5 degrés pour l'angle  $\theta$ .

**Mots clés** : soc, usure, modélisation, angle, effort.

## ABSTRACT

This article has the aim of evaluating the effort of the cultivator in relation to the state of wear of the ploughshares. To quantify this phenomenon, a mathematical model of the effort in relation to the characteristics of wear of the ploughshares, is established. This model will make it possible to determine the acceptable limit of wear before changing the ploughshares of the cultivator.

The model obtained is: 
$$F_t = e^{-3,18} \left( \frac{v^2}{g.H} \right)^{-0,052} . \alpha^{1,56} . \theta^{4,36} . g.d . H^3 ,$$

showed that the characteristics of wear have an effect on the effort. The effect of the angle  $\theta$  is more significant the results showed that the ploughshares of the cultivator must be changed starting from a height  $H = 9,36$  cm and an advanced angle 33,5 degrees. From these values, the required effort is almost double, it passes from 46,79 daN to 90,26 daN for a variation of 0,02 cm for  $H$  and 5,5 degrees for the angle  $\theta$ .

**Words keys :** ploughshare, wear, modelling, angle, effort

## ملخص

هدف هذه المقالة هو تقييم قوة جر لمحراث ذو أسنان أخذنا بعين الاعتبار عناصر إنهاك الأجزاء العاملة للمحراث. لتقييم قوة الجر إقترحنا معادلة رياضية. هذه الأخيرة تمنح القدرة لإيجاد حدود الإنهاك المقبول قبل تغير سكة المحراث.

المعادلة الرياضية التي تحصلن عليها هي

$$F_t = e^{-3,18} \left( \frac{v^2}{g \cdot H} \right)^{-0,052} \cdot \alpha^{1,56} \cdot \theta^{4,36} \cdot g \cdot d \cdot H^3$$

التي تبين جيدا تأثير عناصر الإنهاك و خاصة الزاوية  $\theta$  , على قوة الجر. ترين نتائج البحث أن تغير سكة المحراث ملزم قبل أن تكون  $\theta$  أكثر من 33,5 درجة و الارتفاع H أقل من 9,36 سم . بعد هذه القيمات تقرب قوة الجر الضعفين من المطلوب.

ترتفع هذه القوة من 46,79 daN إلى 90,26 daN عندم يتغير ارتفاع H بنحو 0,02 سم و 5,5 درجة بما يخص الزاوية  $\theta$ .  
كلمات مفتاح : سكة المحراث, إنهاك , معادلة رياضية , زاوية, قوة جر .

**Notations**

$\Theta$ :	Angle de pointe du soc , rad
$\alpha$ :	Angle d'inclinaison du soc, rad
H :	Cote d'usure, distance entre le milieu du soc et son extrémité, cm.
Ft :	Effort de résistance à la traction, daN
d :	Densité apparente du sol, daN/cm <sup>3</sup>
Cr :	Coefficient de correction du modèle
Ftmes :	Effort de résistance à la traction mesuré sur canal, daN
Ftcal :	Effort de résistance à la traction calculé à partir du modèle, daN
FtA60 :	Effort pour l'angle $\alpha = 60$ degrés
FtA45 :	Effort pour l'angle $\alpha = 45$ degrés
FtA35 :	Effort pour l'angle $\alpha = 35$ degrés

**1. INTRODUCTION**

Les caractéristiques physico mécaniques des sols des zones sahariennes caractérisés par leur propriété abrasive entraînent une usure excessive des pièces travaillantes des outils aratoires, notamment des socs des cultivateurs à dents qui sont très fréquemment utilisés.

Les conséquences de cette usure sont multiples parmi lesquelles nous citerons une mauvaise réalisation des opérations de travail du sol, une détérioration des outils aratoires et en conséquence une consommation excessive d'énergie.

En effet l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement des outils aratoires dépend de l'état initial du sol et des caractéristiques géométriques des pièces travaillantes. En ce qui concerne la quantification de l'effort de résistance à la traction, plusieurs modèles mathématiques ont été établis. L'une des premières formes d'équations a été proposé par Reece (1965). Elle est dite équation universelle de la dynamique du sol et est de la forme suivante :

$$P = (\gamma g d^2 N_\gamma + c d N_c + q d N_q) . w$$

où :  $p$  = effort total sur l'outil

$\gamma$  = densité apparente du sol

$w$  = largeur de l'outil

$d$  = profondeur de travail

$g$  = accélération terrestre

$c$  = cohésion du sol

$q$  = pression de surcharge verticale du sol

$N_\gamma, N_c$  et  $N_q$  = facteurs dépendant respectivement de l'angle de frottement interne du sol, de la largeur de l'outil et des caractéristiques outil – résistance du sol.

Ce modèle à deux dimensions, fut par la suite, développé par d'autres chercheurs McKyes et Ali (1977) et Desbiolles et al. (1997). Ces derniers ont introduit des paramètres de forme des outils, à savoir les angles constructifs et des paramètres liés au sol. Ceci a permis l'obtention de modèles à trois dimensions qui tiennent compte de la zone de rupture du sol qui n'est plus bidimensionnel mais tridimensionnel (forme elliptique). Nous citerons entre autre les travaux de Godwin et Spoor (1977) qui proposent le modèle suivant :

$$H = (\gamma g d^2 N_\gamma + c d N_c + c_a d N_{c_a} + q d N_q)(x + s) \sin(\alpha + \delta) + c_a d w \cdot \cot \alpha$$

$H$  = effort total sur l'outil

$$s = r \sin \rho = r \sqrt{1 - (d \cos \alpha / r)^2}$$

$r$  = rayon de courbure de la section de cisaillement du sol.

$c_a$  = coefficient d'adhésivité sol - métal

$\alpha$  = angle d'inclinaison de l'outil

$\delta$  = coefficient de frottement sol - métal

L'analyse de ces modèles montre que les paramètres introduits sont relatifs à l'état du sol et à la géométrie de la pièce travaillante. Il serait cependant nécessaire de mentionner que pendant le travail les pièces travaillantes, d'un outil aratoire, fortement sollicitées par les propriétés abrasives des sols notamment ceux à texture sableuse. Après quelques hectares de travail, les caractéristiques géométriques de ces pièces travaillantes, dans notre cas les socs de cultivateur, sont fortement modifiées ce qui n'est pas sans effet sur la valeur de l'effort de résistance à

la traction et sur les indices qualitatifs du travail du sol. Il est donc intéressant d'étudier l'effet de la variation des caractéristiques géométriques et d'usure sur l'effort et d'en déduire les limites d'usure acceptables.

## 2. MATERIELS ET METHODE

### 2.1. MATERIELS ET CONDITIONS DE TRAVAIL

Pour notre travail, dix socs de cultivateurs à dents (fig.2) ont été choisis en relation avec la surface travaillée et ce dans de mêmes conditions de sol des zones sahariennes, qui est de texture sableuse (: 8,32 % d'argile, 7,52% limon et 84,08% de sable) à une humidité de 9,2 % et à une vitesse moyenne de 8 km/h, la densité apparente du sol est de  $1.85 \text{ g/cm}^3$ .

Les caractéristiques géométriques d'usure choisies sont respectivement : La hauteur du demi soc noté H et l'angle de pointe  $\theta$ . Les valeurs de ces caractéristiques sont consignées sur le tableau 1.

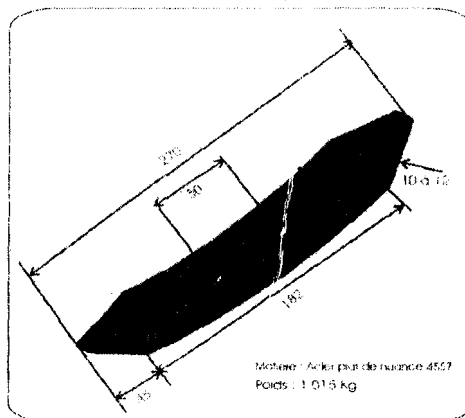


Figure 1 : Caractéristiques géométriques d'un soc neuf

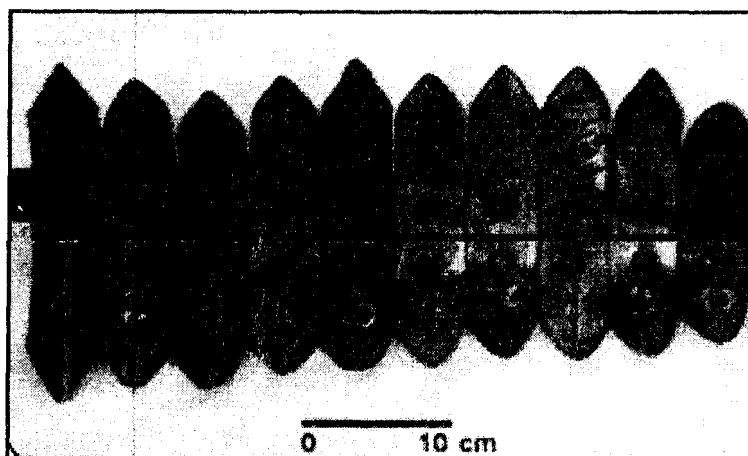


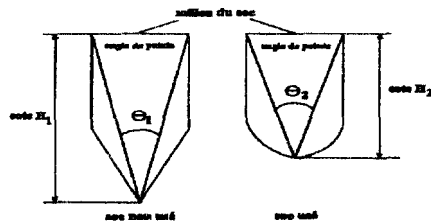
Figure 2 : Mesure de la cote d'usure H sur les socs

Tableau 1 : Valeurs des caractéristiques d'usure des socs

N° soc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H (cm)	12,26	11,48	11,46	10,83	10,47	10,18	09,40	09,36	09,34	8,49
$\theta$ (deg)	25,5	27	27,5	28,5	29,5	30	32,5	33,5	39	47,5

La distance H représente la hauteur comprise entre le milieu du soc et l'extrémité de sa pointe, l'angle  $\theta$ , difficile à déterminer est limité par les cotés allant de la pointe du soc aux points latéraux du milieu du soc (Fig. 3).

La précision des valeurs de H et de  $\theta$  ont été déterminées à l'aide des possibilités graphiques qu'offre le logiciel "AutoCAD"



**Figure 3** : Caractéristiques géométriques d'usure  $H$  et  $\Theta$

## 2.2. METHODE

La détermination de l'effort de résistance à la traction pour chacun des socs a été réalisée sur un canal d'essai de traction. Le sable utilisé sur canal est le même que celui où ont évolué les socs.

Pour nos essais trois vitesses de travail ( $v$ ) ont été choisies, elles sont respectivement de 0,23 , 0,29 et 0,43 m/s. Trois angles d'entrure ( $\alpha$ ) définis ont pour valeurs respectives : 35, 45 (valeur constructive) et 60 degrés. La profondeur de travail sur canal est maintenue à une valeur de 12,5 cm qui est possible avec le dispositif de fixation des socs.

Les efforts de résistance à la traction ont été déterminés à l'aide d'une chaîne de mesure composée de capteurs extensiométriques, d'un amplificateur de signaux et d'un enregistreur graphique.

Pour chaque passage, deux socs sont fixés sur un chariot porte outil, ce qui fait 45 passages avec trois répétitions pour chacun. Neuf valeurs, distantes l'une de l'autre de 0,5 mètre, de l'effort de résistance à la traction ont été déterminés sur chaque enregistrement graphique (fig. 4).



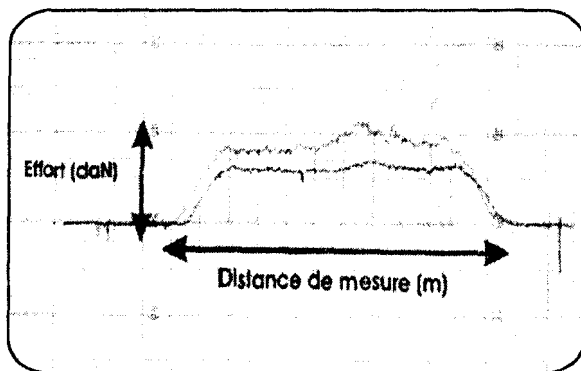


Figure 4 : Enregistrement graphique de l'effort de résistance à la traction

### 2.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 2.3.1. PREMIERES OBSERVATIONS

Les premières observations montrent clairement l'effet de l'état d'usure des socs sur l'effort de résistance à la traction. En effet, l'effort augmente avec la diminution de la cote H, nous rappellerons que pour analyser l'effet de l'usure, la profondeur de travail a été maintenue constante à une valeur de 12,5 cm. Ces résultats sont illustrés par la figure suivante :

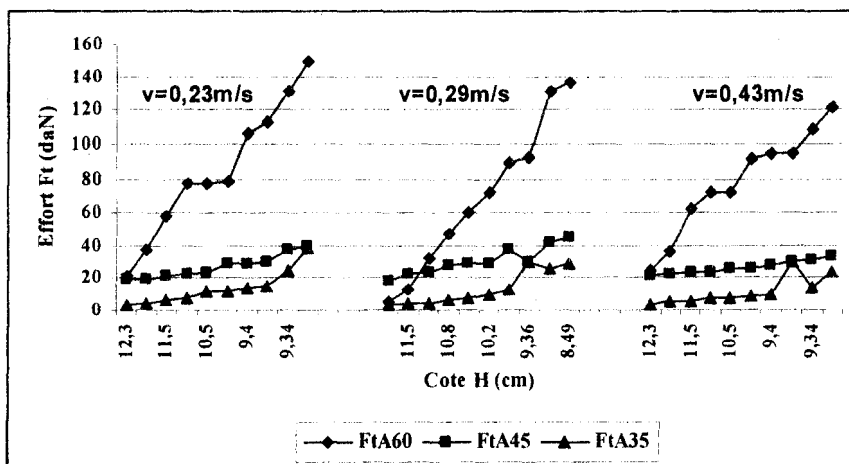


Figure 5 : Effet de la cote H sur l'effort de résistance à la traction pour chaque vitesse et chaque angle d'inclinaison du soc

La figure (5) montre que l'effet de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  est nettement apparent, nous remarquerons que l'effort est plus faible pour un angle de 35 degrés et est plus grand pour un angle de 60 degrés, ce qui pourrait s'expliquer par une pression plus importante car la surface de pression sur le sol est plus importante pour un soc usé.

L'effet des vitesses de travail n'est pas très important car celles-ci sont relativement faibles et que le sol utilisé est très meuble. Afin de pouvoir quantifier l'effet de l'état d'usure des socs d'un cultivateur à dent sur l'effort de résistance à la traction, une modélisation de l'effort en relation avec les caractéristiques d'usure est proposée dans ce qui suit.

### 2.3.2. MODELISATION DE L'EFFORT $F_t$

En appliquant le théorème de Buckingham-Vachy et les principes de l'analyse dimensionnelle (in Langhaar H. L., 1954), énonçant qu'une variable dépendante, dans notre cas l'effort de résistance à la traction, peut être quantifiée par le produit des puissances des  $\pi$  termes contenant les variables dépendantes qui sont dans notre cas les caractéristiques géométriques d'usure  $H$  et  $\theta$ . Le modèle établi avant correction est de la forme :

$$F_t = e^{-3,18} \cdot \left( \frac{v^2}{g \cdot H} \right)^{-0,052} \cdot \alpha^{1,56} \cdot \theta^{4,36} \cdot g \cdot d \cdot H^3$$

Dans les conditions de nos essais et des conditions réelles de travail, c'est à dire pour une densité apparente du sol de  $1,85 \text{ g/cm}^3$  et une vitesse de travail de  $2,7 \text{ m/s}$  et un angle constructif  $\alpha$  de 45 degrés, le modèle mathématique sera simplifié comme suit :

$$F_t := \frac{0,53}{\left( \frac{1}{H} \right)^{0,052}} \cdot \theta^{4,36} \cdot H^3$$

les résultats des efforts calculés ( $F_{tcal}$ ) à partir de cette dernière relation permettent de calculer le coefficient de correction à partir du rapport :

$$Cr = \frac{F_{t_{me}}}{F_{t_{oil}}}$$

Avec :

$Ft_{mes}$  est la valeur de l'effort mesuré et  $Ft_{cal}$  l'effort calculé avec le modèle établi.

Les valeurs des efforts calculés à partir du modèle et en relation avec les caractéristiques d'usure sont consignées sur le tableau 2 :

**Tableau 2** : Efforts calculés avec le modèle en relation avec H et  $\theta$

$\theta$ (rad)	H(cm)	Ftcald(daN)
0,445	12,26	32,6
0,471	11,48	34,17
0,48	11,46	36,91
0,497	10,83	36,15
0,515	10,47	38,07
0,523	10,18	37,38
0,567	9,4	41,68
0,584	9,36	46,79
0,68	9,34	90,26
0,829	8,49	160,03

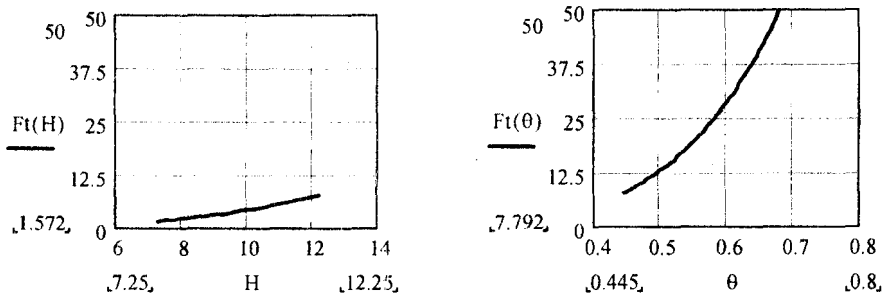
**Tableau 3** : Valeurs du coefficient de correction Cr en relation avec la vitesse et l'angle d'inclinaison du soc

Cr	v1	v2	v3
$\alpha$ 1	1,7	1,29	1,64
$\alpha$ 2	0,25	0,24	0,23
$\alpha$ 3	0,58	0,66	0,59

Il est à remarquer que pour un même angle  $\alpha$  le coefficient de correction est sensiblement le même pour les trois vitesses. Puisque l'angle d'inclinaison  $\alpha$  choisi est de 45 degrés, nous retiendrons la valeur moyenne de 0,24 pour Cr. Ce qui donne le modèle corrigé :

$$F_t := 0.127 \cdot \theta^{4.36} \cdot H^{3.052}$$

Avec : H en centimètres et  $\theta$  en radians



**Figure 6 :** Variations de l'effort en relation avec H et  $\theta$

L'analyse du modèle proposé et des représentations graphiques (fig.6) montre l'effet de l'angle de pointe sur l'effort de résistance à la traction est plus important que celui de la cote H. d'où l'intérêt de faire subir au socs un traitement approprié pour réduire l'usure et maintenir la valeur de l'angle de pointe après plusieurs passages dans le sol. Nous signalerons que la valeur de la cote H est dépendante de la valeur de  $\theta$ .

A l'état neuf, usure nulle, sur un sol sableux, un soc de cultivateur à dent exige en moyenne une force de traction de 37 daN (in Guedioura I., 2001).

Les solutions de cette relation, pour un effort maximum de 37 daN par soc, sont :

$$\theta := 3.6748 \cdot \left( \frac{1}{H^{3.052}} \right)^{0.23} \quad H := 6.419 \cdot \left( \frac{1}{\theta^{4.36}} \right)^{0.33}$$

En maintenant la cote H à une valeur de 12.5 cm, égale à la profondeur de travail, l'angle de pointe sera de 0,627 radians soit 35,92 degrés. Ce qui signifie que l'état d'usure acceptable, dans les conditions d'un sol à texture sableuse, correspondrait au soc 8 ou à la limite au soc 9, nous retiendrons le soc 8 pour éviter une altération du support du soc.

Il serait cependant nécessaire de vérifier la profondeur de travail effective du cultivateur à dents. Dans ce cas l'effort réel sera de 46,79 daN et la cote H de 9,36 cm. Il sera donc nécessaire d'augmenter la profondeur de travail du cultivateur de 3cm.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DESBIOLLES J.M.A., GODWIN R.J., KILGOUR J., BLACKMORE B.S., 1997.-** A novel approach to the prediction of tillage tool using a standard Tine. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **66**, 295 – 309.
- GODWIN R.J. , SPOOR G.,1997.-** Soil failure with narrow tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **22(4)**, 213 – 228.
- GUEDIOURA I., 2001.-** Essai de modélisation de l'effort de résistance à la traction des outils à dents. Thèse de magister, Inst. Nat. Agron. El-Harrach – Alger.
- LANGHAAR H. L. , 1954.-** Dimensional Analysis and Theory of Models, Ed. New York . John Wiley and Sons, Inc.
- McKyes E , Ali O. S., 1977.-** The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics.*, **14(2)**,43 – 58.
- REECE A.R. ,1965.-** The fundamental equation of earthmoving mechanics. *Symp. Earthmoving Machinery*, 179 part 3F. Institute of mechanical Engineering. Newcastle Upon Tyne.