

# Modélisation de l'effort de résistance à la traction en relation avec les caractéristiques d'usure des socs d'un cultivateur à dents

Amara MAHFOUD<sup>1</sup>, Benchabla FOUZIA<sup>1</sup>

## Résumé

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.

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

## Modelling effort tensible strength in relation with characteristics of wear of the ploughshares

### 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 use it possible to determine the acceptable limit of wear before changing the ploughshares of the cultivator.

**Keywords:** ploughshare, wear, modelling, angle, effort.

#### 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, g/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

<sup>1</sup> Institut National Agronomique – Génie Rural, El-Harrach ; Hassan Badi – 16211- Alger, Algérie ; E-mail: m.amara@ina.dz

## Introduction

Une des caractéristiques physico mécaniques des sols des zones sahariennes est leurs propriétés abrasives qui entraînent une usure excessive des pièces travaillantes des outils aratoires, notamment des socs à dents des cultivateurs qui sont très fréquemment utilisés.

Les conséquences de cette usure entraînent, une demande énergétique excessive qui peut détériorer les outils aratoires.

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.

Pour 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 proposée par REECE, 1965. Elle est dite équation universelle de la dynamique du sol et est de la forme suivante :

$$Ft = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c + qdN_q).w$$

où :  $Ft$  = effort total sur l'outil

$\gamma$  = densité apparente du sol

$w$  = largeur de l'outil

$d$  = profondeur de travail

$g$  = accélération de la pesanteur

$c$  = cohésion du sol

$q$  = pression de surcharge verticale du sol

$N_\gamma, N_c, N_q$  = facteurs dépendant respectivement de l'angle de frottement interne du sol, de la largeur de la pièce travaillante et des interactions entre les pièces travaillantes et le sol.

Ce modèle à deux dimensions fut par la suite développé par d'autres chercheurs comme 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. Cela 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 autres les travaux de GODWIN et SPOOR, 1977 qui proposent le modèle suivant :

$$Ft = (\gamma d^2 N_\gamma + cdN_c + c_a dN_{c_a} + qdN_q)(x + s)\sin(\alpha + \delta) + c_a dw \cot \alpha$$

$Ft$  = 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 sont 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 sur l'effort de résistance à la traction.

## Matériels et méthode

### Matériels et conditions de travail

Pour notre travail, dix socs de cultivateurs à dents (figures 1 et 2) ont été choisis en relation avec la surface travaillée dans de mêmes conditions sur un sol qui est de texture sableuse (8,32 % d'argile, 7,52 % de 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 g/cm<sup>3</sup>.

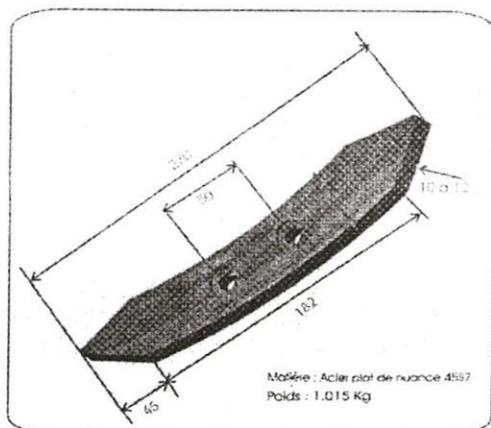


Figure 1. Caractéristiques géométriques d'un soc neuf (mm).

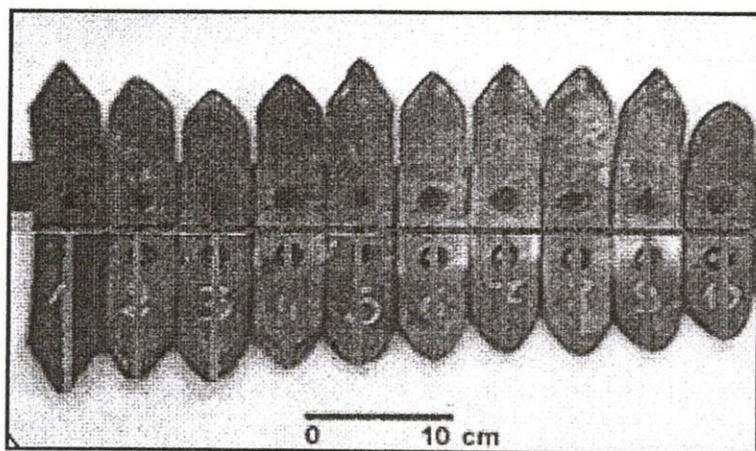


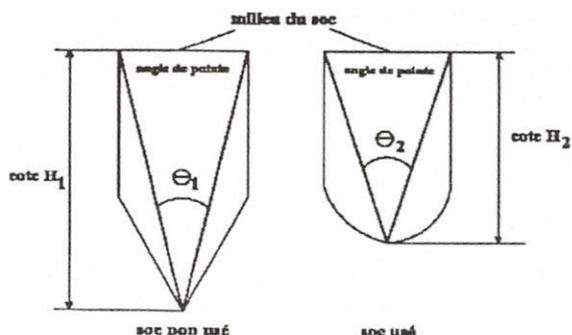
Figure 2. Mesure de la cote d'usure H sur les socs.

Les caractéristiques géométriques d'usure choisies sont : La hauteur du demi soc noté H et l'angle de pointe  $\theta$  (figure 3). Les valeurs de ces caractéristiques sont consignées sur le tableau I.

**Tableau I.** 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 côtés allant de la pointe du soc aux points latéraux du milieu du soc (figure 3). La précision des valeurs de H et de  $\theta$  a été déterminée à l'aide des possibilités graphiques qu'offre le logiciel « AutoCAD ».



**Figure 3.** Caractéristiques géométriques d'usure H et  $\theta$ .

## Méthode

La détermination de l'effort de résistance à la traction pour chacun des socs a été réalisée sur un canal d'essai de traction (figure 4). Le sable utilisé sur canal est le même que celui où ont évolué les 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 nos essais, trois vitesses de travail ( $v$ ) ont été choisies ; elles sont respectivement de 0,23, 0,29 et de 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, ce qui est possible avec le dispositif de fixation des socs.

Pour chaque essai, deux socs sont fixés sur un chariot porte outil (figure 4), ce qui fait 45 essais avec trois répétitions. Ce qui fait 135 essais. Neuf valeurs, distantes l'une de l'autre de 0,5 mètre, de l'effort de résistance à la traction ont été déterminées sur chaque enregistrement graphique pour chaque soc (figure 5).

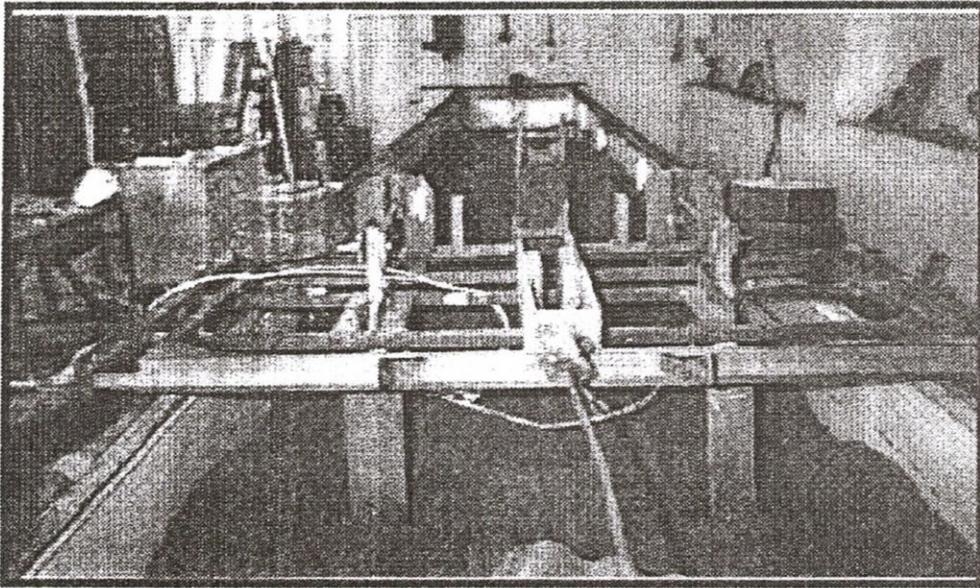


Figure 4. Dispositif expérimental pour la détermination des efforts de résistance à la traction.

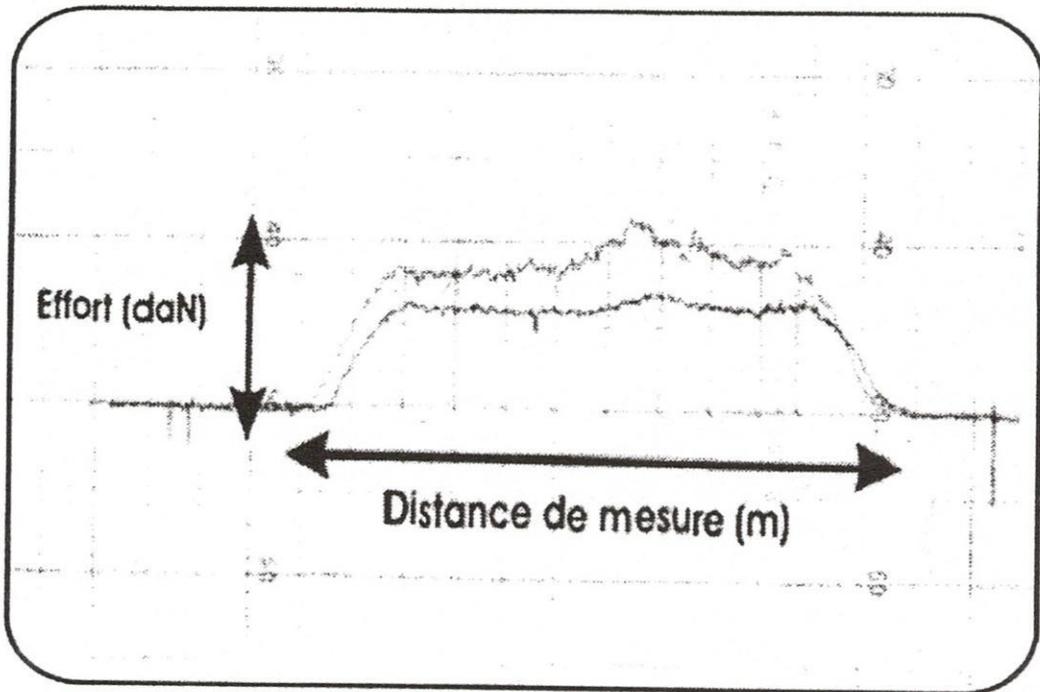


Figure 5. Enregistrement graphique de l'effort de résistance à la traction

# Résultats et discussions

## Premières observations

Les observations de la figure 6 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 à une profondeur de travail constante (12,5 cm).

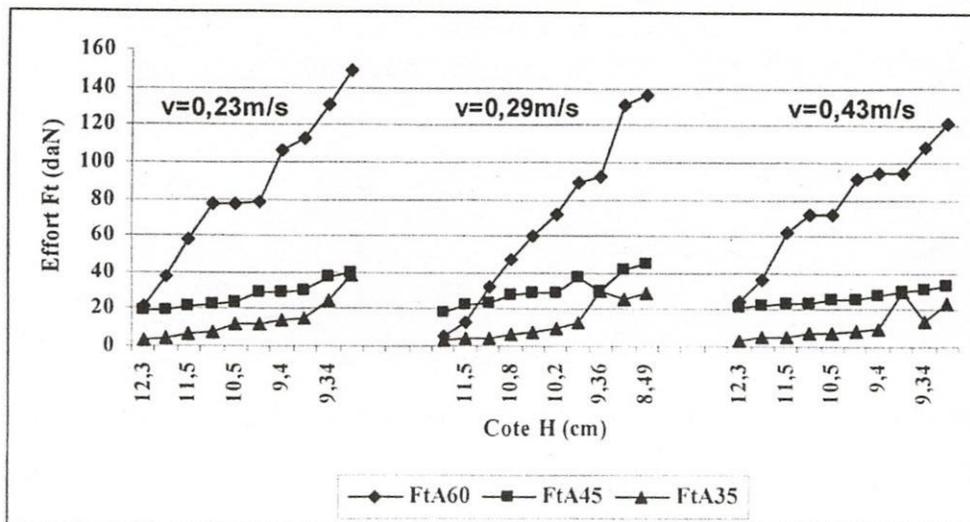


Figure 6. Effet de la cote H sur l'effort de résistance à la traction pour chaque vitesse et chaque angle d'inclinaison du soc.

L'effet de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  est nettement apparent car quelle que soit la vitesse de travail, les efforts sont plus faibles pour un angle de 35 degrés et est plus élevé pour l'angle de 60 degrés. Cet effort croissant avec la diminution de H pourrait s'expliquer par l'augmentation des surfaces de contact entre le soc et le sol. Ces surfaces de contact accroissent la pression du sol sur le soc et engendrent une résistance à la traction plus élevée.

L'effet des vitesses de travail n'est pas très significatif car celles-ci sont relativement faibles et le sol utilisé est très meuble. Les modèles proposés par REECE, 1965, GODWIN et SPOOR, 1977 ne tenant pas compte de l'état d'usure, nous proposerons dans ce qui suit un modèle de l'effort de résistance à la traction en relation avec les caractéristiques d'usure.

## Modélisation de l'effort Ft

En appliquant le théorème de Buckingham-Vachy et les principes de l'analyse dimensionnelle (LANGHAAR, 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 g/cm<sup>3</sup> et une vitesse de travail de 2,7m/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 :  $Cr = \frac{F_{t\ mes}}{F_{t\ cal}}$

Avec :

$F_{t\ mes}$  est la valeur de l'effort mesuré et  $F_{t\ cal}$  l'effort calculé avec le modèle établi.

Les valeurs des efforts calculés à partir du modèle et en relation avec les caractéristiques d'usu-  
re sont consignées sur le tableau II.

Tableau II. Efforts calculés avec le modèle en relation avec H et  $\theta$ .

$\theta$ (rad)	H(cm)	$F_{tcal}$ (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
0.537	9,4	41,68
0.551	9,36	46,79
0.566	9,34	90,26
0.572	8,49	160,03

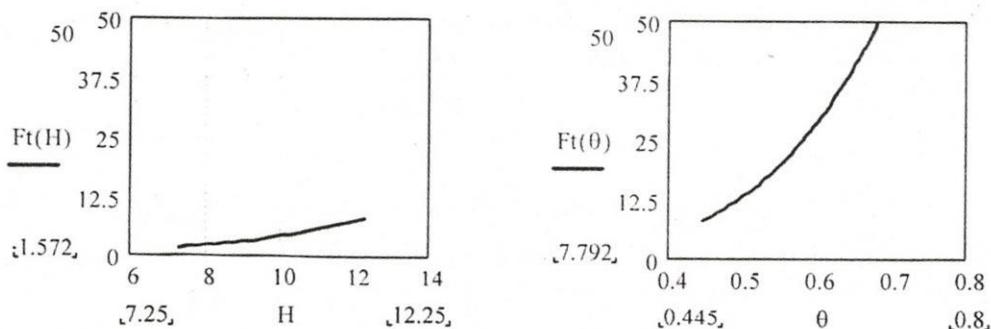
**Tableau III.** Valeurs du coefficient de correction Cr en relation avec la vitesse et l'angle d'inclinaison du soc.

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

Les valeurs du coefficient de correction Cr représentées sur le tableau III, sont sensiblement les mêmes pour l'angle  $\alpha_2$  qui est l'angle constructif. Sa valeur est de 45 degrés, pour cela nous retiendrons donc 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 7.** Variations de l'effort en relation avec H et  $\theta$ .

L'analyse du modèle proposé ci-dessus et des représentations graphiques (figure 7) obtenues à l'aide du logiciel Mathcad montrent que 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 soc 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 dents exige en moyenne une force de traction de 37 daN (GUEDIOURA, 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 sera 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 3 cm.

## Conclusion

Les relations établies ci-dessus mettent clairement en évidence l'effet des caractéristiques géométriques et d'usure des socs sur l'effort de résistance à la traction. L'analyse de ces relations montre que l'angle de pointe  $\theta$ , avec une puissance de 4,36, est la caractéristique la plus influente sur l'effort. Ceci s'expliquerait par le fait qu'il n'y a plus de cisaillement du sol mais plutôt une compression de celui-ci. Ensuite, c'est la hauteur d'usure H et enfin l'angle d'inclinaison  $\alpha$ .

Ce travail permet de choisir correctement le moment de changer les socs d'un cultivateur pour limiter les pertes d'énergie et de réfléchir sur le type de traitement du matériau avec lequel seront fabriqués les socs des cultivateurs à dents.

## Références citées

- 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*, (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, Algérie. 120 p.
- 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*, (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. UK.