

## MODELISATION DE L'EFFORT DE RESISTANCE A LA TRACTION D'UN OUTIL ARATOIRE SIMPLE. INFLUENCE DE LA VITESSE, DE L'HUMIDITE DU SOL ET DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ANGULAIRES

Reçu le 29/07/2003 – Accepté le 12/11/2007

### Résumé

Les formes des surfaces travaillantes des outils aratoires comme les socs des charrues et les organes d'enterrage des semoirs ou des planteuses sont généralement caractérisées par deux angles caractéristiques, l'angle d'entrure ou d'inclinaison de l'outil et l'angle d'attaque ou angle d'ouverture. Les valeurs de ces deux angles ont une influence certaine sur les indices qualitatifs et énergétiques.

Cette étude a pour objet de mettre en évidence l'importance de ces angles en analysant l'effet de leurs variations sur l'effort de résistance à la traction. Les effets de la vitesse et de l'humidité du sol seront également pris en considération.

Après cette analyse, un modèle mathématique de l'effort de résistance à la traction en fonction de l'angle d'inclinaison, de l'angle d'ouverture, de la vitesse et de l'humidité du sol sera établi. Une analyse de la fiabilité du modèle sera ensuite traitée en comparant les valeurs mesurées sur canal et les valeurs calculées à l'aide de ce modèle.

**Mots clés:** effort de traction, angles, vitesse, humidité, modèle.

### Abstract

The shapes of the agricultural tools, like the ploughshares, and the bodies of enterrage of the seeders or the planting machines, are generally characterised by two angles, the rake angle of the tool and the sweep angle. The values of these two angles have an unquestionable influence on the qualitative and energy indexes.

This study has the aim of highlighting the importance of these angles by analysing the effect of their variations on the effort of tensile strength. The effects the speed and of the moisture of the soil will be also taken into account. After this analysis, a mathematical model of the draught of the form will be established. An analysis of the reliability of the model will be done by comparing the values measured on channel and the computed values using this model.

**Keywords:** draught, angles, speed, moisture, model.

M. AMARA <sup>(1)</sup>,  
E.H. BOURARACH <sup>(2)</sup>,  
I. GUEDIORA <sup>(1)</sup>  
<sup>(1)</sup> Institut National  
Agronomique El-Harrach –  
Alger - Algérie  
<sup>(2)</sup> Institut Agronomique et  
Vétérinaire Hassan II-  
Rabat - Maroc

Les besoins énergétiques pour le travail du sol représentent plus de 50% de l'énergie totale nécessaire pour la mise en place d'une culture donnée (Severkey et Tsyganou, 1982). De ce fait l'évaluation des besoins énergétiques en agriculture présente des intérêts purement économiques. Cette consommation d'énergie varie souvent selon les conditions d'utilisation du matériel, et surtout de leurs caractéristiques géométriques. Toujours dans cet objectif, cette évaluation peut être abordée de différentes façons, pour l'économiste, elle pourrait être comparée au temps de réalisation d'une opération donnée pour une surface définie ou à la quantité de carburant consommé au cours de cette opération. L'agronome machiniste, outre cette méthode, doit s'intéresser à la relation entre la forme de l'outil et la consommation de carburant, lorsqu'il recherche une optimisation de la forme de l'outil. Pour cela ces méthodes restent insuffisantes.

Pour plus de précision le machiniste utilisera l'effort de résistance à la traction comme indicateur principal pour l'évaluation des besoins en énergie des opérations culturales. A cet effet, Wismer R.D. et Luth H.J (1972), Wheeler P.N. et Godwin R. J. (1996) ont proposé des modèles de l'effort de résistance à la traction pour des lames simples ou dents de cultivateurs, en tenant compte principalement des propriétés physico-mécaniques, comme le cône index, du sol.

Sur ce point Delacotte L. (1981) a montré que l'éclatement des sols secs devant la pièce travaillante entraînait une légère augmentation de l'effort de résistance à la traction. Les caractéristiques angulaires n'ont cependant pas été introduites dans leurs modèles.

Pour cela, l'objectif de cet article est l'établissement d'un modèle mathématique de l'effort de résistance à la traction en relation avec les caractéristiques géométriques des pièces travaillantes d'un outil aratoire.

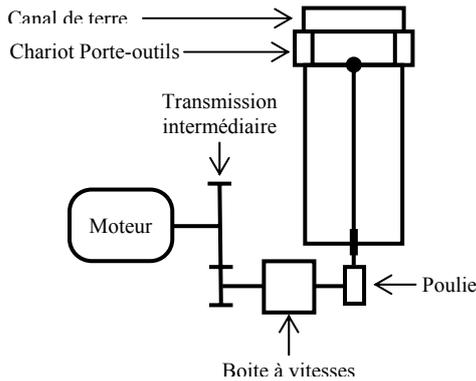
### ملخص

تتخصص أشكال الأجزاء العاملة للألات تهيئنت التربة مثل سكت المحراث وأجزاء وضع البدرة في التربة بزاويتين. الأولى زاوية إدخال السكة في التربة ( $\alpha$ ) والثانية زاوية ( $\gamma$ ) الانفتاح أو اقتحام التربة. تؤثر قيم هذه الزاويتين على نوعية تهيئنت التربة وعلى الطاقة المستعملة عند تهيئنت التربة. الهدف من هذه الدراسة هو البحث عن تأثير قيم هذه الزاويتين على قوة جر آلات الحرث أخذاً بعين الاعتبار سرعة الحرث ورطوبة التربة وأجاد علاقة رياضية بين هذه الزاويتين وقوة جر آلات الحرث.

**الكلمات المفتاحية:** قوة جر - زاوية - رطوبة التربة - سرعة الحرث

**1. MATERIELS ET METHODE**

Les essais se sont déroulés dans un canal de traction de 12 m de longueur, 1.10 m de largeur et 0.80 m de profondeur. Sur ce canal est monté un chariot porte-outils, muni d'un mécanisme de réglage de la profondeur de travail et des angles de travail. Ce chariot est animé d'un mouvement de translation, par un moteur électrique relié à une boîte à vitesses. La transmission du mouvement est réalisée par l'intermédiaire d'un câble (Figure 1). Les valeurs des vitesses sont respectivement  $v_1 = 0,23$  m/s,  $v_2 = 0,29$  m/s et  $v_3 = 0,43$  m/s.

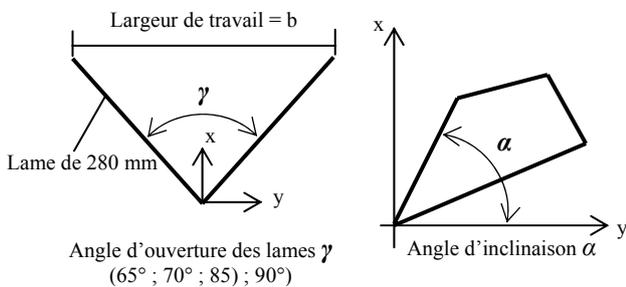


**Figure 1 :** Dispositif expérimental et mécanisme de transmission

Afin d'éviter les interactions dues à la variabilité spatiale des sols agricoles, le canal a été rempli avec un sol remanié présentant une bonne homogénéité. Sa texture est sableu-argileuse avec 60.78% de sable, 16.2% d'argile et 13.52% de limon.

La densité apparente a été maintenue à une valeur moyenne de  $1,23$  g/cm<sup>3</sup> au moyen de passage d'un rouleau lisse de longueur égale à celle de la largeur du canal et dont le poids est de 750 N. la densité réelle est de  $2,20$  g/cm<sup>3</sup> ; ce qui a donné une porosité de 44,09 %.

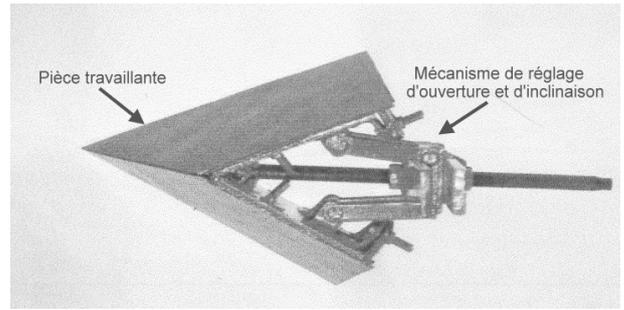
La profondeur de travail influant proportionnellement sur l'effort de résistance à la traction a été considérée constante durant tous les essais, sa valeur est de 0,12 mètres, valeur courante pour les travaux moyens. La largeur de travail est par contre définie par la valeur de l'angle d'ouverture (figures. 2 et 3).



**Figure 2 :** Caractéristiques géométriques de l'outil

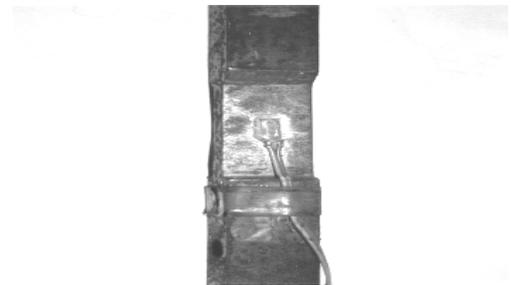
La relation entre ces deux grandeurs (largeur de travail et angle d'ouverture) est :

$$b = 56 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$$



**Figure 3 :** Vue de dessus de l'outil

Le dispositif est conçu de manière à pouvoir régler les différents paramètres tels que la profondeur de travail de l'outil, les angles d'inclinaison et d'ouverture des lames afin d'étudier l'influence de leurs variations sur l'effort de résistance à la traction déterminé à l'aide de capteurs extensiométriques (figure 4).



**Figure 4 :** Capteur d'effort avec jauge de contrainte

**2. RESULTATS DES ESSAIS**

Les valeurs de l'effort de résistance à la traction obtenues sur canal pour différentes valeurs des angles d'ouvertures et d'inclinaison et pour les deux humidités du sol, sont représentées sur le tableau 1.

**Tableau 1 :** Valeurs de l'effort de résistance à la traction

$\alpha(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	Ftw1V1	Ftw1V2	Ftw1V3	Ftw2V1	Ftw2V2	Ftw2V3
50	65	18,01	14,29	13,51	16,94	14,68	16,11
60	65	12,39	13,01	12,47	16,48	20,46	18,01
70	65	10,36	10,46	10,18	15,82	18,23	18,67
80	65	11,09	10,58	10,88	17,92	17,39	16,07
90	65	13,70	13,40	12,70	20,65	15,45	18,05
50	70	19,31	14,77	14,45	26,86	19,26	18,73
60	70	20,80	17,09	18,57	26,79	23,39	22,48
70	70	15,87	14,59	15,30	21,71	15,87	14,12
80	70	14,79	14,90	15,00	16,70	16,26	16,43
90	70	18,90	11,80	12,90	19,25	19,67	19,85
50	85	34,24	27,21	33,59	43,60	30,40	31,61
60	85	43,26	38,44	41,26	26,13	27,00	28,03
70	85	31,53	31,99	29,83	22,67	21,02	21,75
80	85	30,36	29,50	24,11	23,89	21,45	21,71
90	85	65,40	52,10	36,70	29,85	27,62	27,35
50	90	35,20	34,90	35,80	28,10	26,62	23,80
60	90	35,57	28,65	33,20	26,86	19,26	18,73
70	90	82,99	59,25	52,89	41,88	43,51	41,38
80	90	67,15	51,62	47,60	25,76	23,69	27,37
90	90	67,23	46,25	45,28	28,81	23,12	24,89

L'analyse de ces valeurs montre que l'effort augmente avec l'angle d'ouverture  $\gamma$  de la pièce travaillante,

notamment quand celui-ci passe de 70 à 85 degrés. L'effet de l'angle d'inclinaison  $\alpha$ , des lames de la pièce travaillante est cependant moins important. Ces résultats montrent également que les valeurs de l'effort obtenues pour l'humidité du sol  $w_1 = 7,56 \%$ , sont supérieures à celles obtenues pour une humidité  $w_2 = 2,51 \%$ .

Tenant compte de cette dernière remarque, et pour cause de la fréquence de la première humidité sur les sols à texture sablonneuse avec peu d'argile et de limon, les valeurs de l'effort de résistance à la traction obtenus avec l'humidité  $w_1 = 7,56 \%$  sont celles utilisées pour le traitement statistique (ajustement et régression linéaire) qui a permis d'obtenir par régression polynomiale du second ordre des équations de la forme :

$$F_t = C_1 + C_2 \cdot x + C_3 \cdot x^2$$

Avec  $x$  : l'angle d'inclinaison ( $\alpha$ ) ou l'angle d'ouverture des lames ( $\gamma$ ). Les constantes de régression  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  avec les coefficients de détermination respectifs sont représentées sur les tableaux 2 et 3.

**Tableau 2 :** Valeurs des constantes  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  des équations de régressions pour une humidité de 7,56 % (effet de l'angle d'ouverture  $\gamma$ )

Angle d'ouverture (°)	Vitesse (m/s)	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$R^2$
65	v1	5,20	0,22	0,00058	0,80
	v2	31,62	-0,59	0,005	0,94
	v3	13,96	-0,14	0,003	0,98
70	v1	4,54	0,33	-0,001	0,98
	v2	14,00	0,08	0,00058	0,89
	v3	30,23	-0,36	0,003	0,87
85	v1	52,15	-0,90	0,008	0,90
	v2	57,64	-0,95	0,008	0,81
	v3	73,88	-1,45	0,012	0,93
90	v1	-3,34	0,84	-0,004	0,73
	v2	-15,75	1,20	-0,005	0,89
	v3	-4,08	0,98	-0,005	0,71

**Tableau 3 :** Valeurs des constantes  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  des équations de régressions pour une humidité de 7,56 % (effet de l'angle d'inclinaison  $\alpha$ )

Angle d'inclinaison (°)	Vitesse (m/s)	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$R^2$
50	v1	-166,96	4,39	-0,024	0,95
	v2	197,25	5,21	-0,03	0,96
	v3	-248,31	6,42	0,036	0,99
60	v1	102,69	-2,77	0,022	0,95
	v2	21,96	-0,71	0,009	0,98
	v3	93,24	-2,59	0,022	0,98
70	v1	35,35	-0,92	0,01	0,99
	v2	2,22	-0,15	0,006	0,99
	v3	25,01	-0,71	0,009	0,98
80	v1	-177,97	4,68	-0,025	0,99
	v2	37,65	-1,02	0,011	0,94
	v3	78,45	-2,11	0,019	0,99
90	v1	-84,25	2,13	-0,008	0,97
	v2	52,51	-1,41	0,015	0,99
	v3	-0,52	0,07	0,004	0,97

Les valeurs des coefficients de détermination  $R^2$  comprises entre 0,71 et 0,99 font ressortir une bonne corrélation entre les angles et l'effort de résistance à la traction, ce qui permet d'affirmer l'importance des effets des angles.

### 3. ANALYSE ET INTERPRETATIONS :

Nos résultats ont montré que l'effort de résistance à la traction augmente légèrement avec la vitesse d'avancement, ce qui confirme les travaux de Delacotte L. (1981) et ceux de Wheeler P.N. et Godwin R.J. (1996). Cet effet est probablement dû aux caractéristiques du sol de texture à prédominance sableuse.

Pour ce qui est de l'humidité du sol, l'augmentation de la teneur en eau entraîne une augmentation de l'effort de résistance. Ceci s'explique par le fait qu'à une faible humidité (2,51%) du sol, les agrégats le constituant, sont plus mobiles les uns par rapport aux autres, par contre, à une humidité plus élevée (7,56%) la présence de l'argile (16,2%) augmente les forces de cohésion entre les différents agrégats. Ceci est l'une des caractéristiques des sols sableux.

L'analyse de l'effet des caractéristiques géométriques de l'outil a montrée, que pour toutes les vitesses et pour les deux humidités, l'effort de résistance à la traction augmente avec l'augmentation de l'angle d'ouverture et l'angle d'inclinaison. Il serait donc nécessaire de rechercher les valeurs optimales pour ces deux angles en tenant compte des indices qualitatifs de l'action de l'outil. A cet effet, un essai de modélisation de l'effort de résistance à la traction a été réalisé dans ce qui suit.

### 4. ESSAI DE MODELISATION MATHEMATIQUE DE L'EFFORT DE RESISTANCE

L'utilisation des principes de l'analyse dimensionnelle et de la modélisation mathématique a permis l'obtention de la relation de la forme :

$$F_t = f(a, \gamma, w, v)$$

La régression multiple a permis d'obtenir la relation :

$$F_t = -73,19 + 0,30 \alpha + 1,013 \gamma + 0,063 w + 3,75 v$$

Avec :  $R^2 = 0,73$

L'analyse de cette relation met en évidence l'ordre d'importance des paramètres étudiés sur l'effort de résistance à la traction. Par ordre d'importance nous avons respectivement : la vitesse avec un coefficient de (3,75), l'angle d'attaque (1,013), l'angle d'entrure (0,30) et enfin l'humidité du sol avec un coefficient de 0,063.

En introduisant dans la relation précédente, la densité apparente ( $d$ ) et la profondeur de travail ( $a$ ) et en appliquant les principes de l'analyse dimensionnelle (H. L. Langhaar ; 1954), et après application de la régression multiple nous avons obtenu l'équation suivante :

$$\ln(F_t/d_a \cdot a^3) = -12,97 + 0,03 \cdot \ln(v^2/g \cdot a) + 0,65 \cdot \ln(\alpha) + 3,005 \cdot \ln(\gamma) - 0,1 \cdot \ln(w)$$

Avec :  $R^2 = 0,82$

Après intégration par partie de cette relation, le modèle mathématique obtenu s'écrit comme suit :

$$F_t = e^{-12.97} \cdot \left( \frac{v^2}{g \cdot a} \right)^{0.03} \cdot \alpha^{0.65} \cdot \gamma^3 \cdot w^{-0.1} \cdot d \cdot a^3$$

Les unités utilisées pour les différents paramètres de ce modèle sont respectivement : v (m/s), g (m/s<sup>2</sup>), a (m), d (kg/m<sup>3</sup>), w (%) et les angles en (°).

L'utilisation du modèle a permis de tracer les graphes suivants qui montrent la variation de l'effort de résistance à la traction en relation avec les paramètres étudiés (figure5).

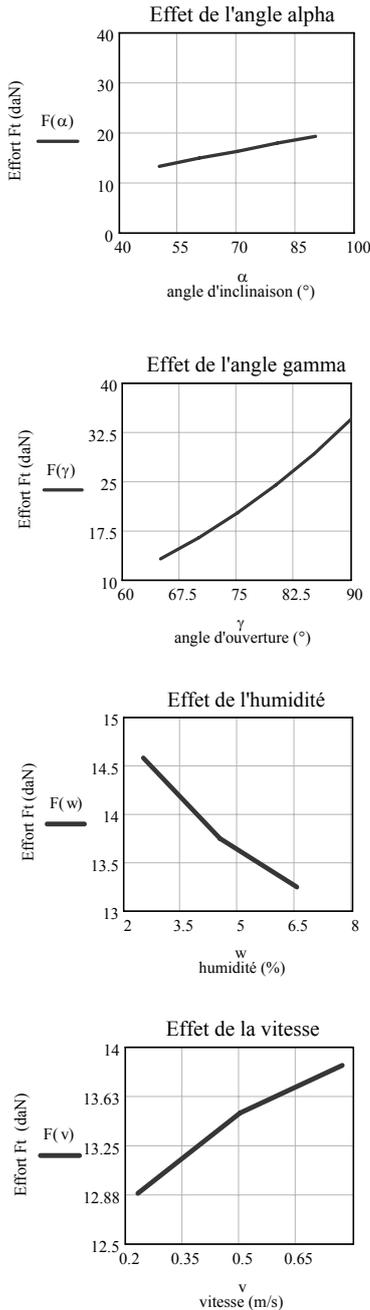


Figure 5 : variation de l'effort de résistance à la traction

L'évolution de ces courbes met clairement en évidence l'effet des différents étudiés sur l'effort de résistance à la traction. Pour ce qui est des angles, l'effort de résistance à la traction est plus sensible à l'effet de l'angle d'ouverture qu'à l'angle d'inclinaison.

### 5. ANALYSE COMPARATIVE ENTRE LES VALEURS MESUREES SUR CANAL ET CELLES CALCULEES A PARTIR DU MODELE ETABLI

Afin de vérifier la validité du modèle établi, nous avons réalisé les représentations graphiques suivantes, mettant en relation l'effet des différents paramètres étudiés avec l'effort calculé à partir du modèle et mesuré sur canal (tableau 4).

Tableau 4 : Différence entre les valeurs de l'effort calculé à partir du modèle et les valeurs mesurées sur canal

	Ft Calculé – Ft Mesuré	
	w1	w2
v1	-6,35	4,26
v2	-0,32	7,28
v3	1,13	7,95

Les valeurs consignées sur les tableaux 5 et 6, montrent la tendance de l'évolution de l'effort calculé (FtCalculé) à partir du modèle établi et des valeurs mesurées sur canal en relation avec l'angle d'ouverture des pièces travaillantes.

### CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent clairement l'importance des caractéristiques angulaires des pièces travaillantes, ainsi que ceux de l'humidité du sol et de la vitesse de travail sur la valeur de l'effort de résistance à la traction. Nous retiendrons donc pour la détermination de l'effort de résistance à la traction le modèle :

$$F_t = e^{-12.97} \cdot \left( \frac{v^2}{g \cdot a} \right)^{0.03} \cdot \alpha^{0.65} \cdot \gamma^3 \cdot w^{-0.1} \cdot d \cdot a^3$$

Ces résultats permettent également d'affirmer la validité du modèle obtenu. Celui-ci serait une contribution à la conception des outils aratoires et des organes composant différentes machines agricoles utilisées pour la mise en place des cultures en choisissant correctement les valeurs des différents angles constructifs en vue de minimiser les besoins en énergie.

### REFERENCES

Severkey et Tsyganou, 1982 : The determination of plough draught, Part II. The measurement and prediction plough draught for two mouldboard shapes in three soil series. Journal of Terramechanics, vol 19 n°3; p 153-164.  
 Delacotte L, 1981 : Contribution à l'étude des outils d'éclatement du sol. Mémoire ENITA.  
 Wismer R.D. et Luth H.J., 1972 : Performance of Plane Soil Cutting Blades in Clay, Transaction of the ASAE.  
 Wheeler P.N. et Godwin R. J., 1996 : Soil Dynamics of Single and Multiple Tines at Speeds up to 20 km / h, J. agric. Engng Res. 63, 243-250.  
 Langhaar H. L., 1954 : Dimensional Analysis and Theory of Models, Ed. New York. John Wiley and Sons, Inc.

**Tableau 5 :** Valeurs comparées entre celles calculées à partir du modèle et celles mesurées sur canal pour chaque vitesse et pour la première humidité du sol

		w1 = 7,56%								
		v1			v2			v3		
$\alpha(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes
50	65	18,01	11,79	<b>-6,22</b>	14,29	11,95	<b>-2,34</b>	13,51	12,24	<b>-1,27</b>
60	65	12,39	13,27	<b>0,88</b>	13,01	13,46	<b>0,45</b>	12,47	13,78	<b>1,31</b>
70	65	10,36	14,67	<b>4,31</b>	10,46	14,87	<b>4,41</b>	10,18	15,23	<b>5,05</b>
80	65	11,09	16,00	<b>4,91</b>	10,58	16,22	<b>5,64</b>	10,88	16,61	<b>5,73</b>
90	65	13,70	17,27	<b>3,57</b>	13,40	17,51	<b>4,11</b>	12,70	17,93	<b>5,23</b>
50	70	19,31	14,72	<b>-4,59</b>	14,77	14,93	<b>0,16</b>	14,45	15,28	<b>0,83</b>
60	70	20,80	16,57	<b>-4,23</b>	17,09	16,81	<b>-0,28</b>	18,57	17,21	<b>-1,36</b>
70	70	15,87	18,32	<b>2,45</b>	14,59	18,58	<b>3,99</b>	15,30	19,02	<b>3,72</b>
80	70	14,79	19,98	<b>5,20</b>	14,90	20,26	<b>5,36</b>	15,00	20,75	<b>5,76</b>
90	70	18,90	21,57	<b>2,67</b>	11,80	21,87	<b>10,07</b>	12,90	22,40	<b>9,50</b>
50	85	34,24	26,36	<b>-7,88</b>	27,21	26,73	<b>-0,48</b>	33,59	27,37	<b>-6,22</b>
60	85	43,26	29,67	<b>-13,59</b>	38,44	30,09	<b>-8,35</b>	41,26	30,81	<b>-10,45</b>
70	85	31,53	32,80	<b>1,27</b>	31,99	33,26	<b>1,27</b>	29,83	34,06	<b>4,23</b>
80	85	30,36	35,77	<b>5,41</b>	29,50	36,28	<b>6,78</b>	24,11	37,14	<b>13,03</b>
90	85	65,40	38,62	<b>-26,78</b>	52,10	39,16	<b>-12,94</b>	36,70	40,10	<b>3,40</b>
50	90	35,20	31,29	<b>-3,91</b>	34,90	31,73	<b>-3,17</b>	35,80	32,48	<b>-3,32</b>
60	90	35,57	35,22	<b>-0,35</b>	28,65	35,72	<b>7,07</b>	33,20	36,57	<b>3,37</b>
70	90	82,99	38,94	<b>-44,05</b>	59,25	39,48	<b>-19,77</b>	52,89	40,43	<b>-12,46</b>
80	90	67,15	42,47	<b>-24,68</b>	51,62	43,06	<b>-8,56</b>	47,60	44,09	<b>-3,51</b>
90	90	67,23	45,85	<b>-21,38</b>	46,25	46,49	<b>0,24</b>	45,28	47,60	<b>2,32</b>

**Tableau 6 :** Valeurs comparées entre celles calculées à partir du modèle et celles mesurées sur canal pour chaque vitesse et pour la deuxième humidité du sol

		w2 = 2,51%								
		v1			v2			v3		
$\alpha(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes	FtMesuré	FtCalculé	FtCal - FtMes
50	65	16,94	13,16	<b>-3,78</b>	14,68	13,34	<b>-1,34</b>	16,11	13,66	<b>-2,45</b>
60	65	16,48	14,82	<b>-1,66</b>	20,46	15,02	<b>-5,44</b>	18,01	15,38	<b>-2,63</b>
70	65	15,82	16,38	<b>0,56</b>	18,23	16,61	<b>-1,62</b>	18,67	17,00	<b>-1,67</b>
80	65	17,92	17,86	<b>-0,06</b>	17,39	18,11	<b>0,72</b>	16,07	18,55	<b>2,48</b>
90	65	20,65	19,28	<b>-1,37</b>	15,45	19,55	<b>4,10</b>	18,05	20,02	<b>1,97</b>
50	70	26,86	16,44	<b>-10,42</b>	19,26	16,67	<b>-2,59</b>	18,73	17,07	<b>-1,66</b>
60	70	26,79	18,51	<b>-8,28</b>	23,39	18,76	<b>-4,63</b>	22,48	19,21	<b>-3,27</b>
70	70	21,71	20,46	<b>-1,25</b>	15,87	20,74	<b>4,87</b>	14,12	21,24	<b>7,12</b>
80	70	16,70	22,31	<b>5,61</b>	16,26	22,62	<b>6,36</b>	16,43	23,16	<b>6,73</b>
90	70	19,25	24,09	<b>4,84</b>	19,67	24,42	<b>4,75</b>	19,85	25,01	<b>5,16</b>
50	85	43,60	29,43	<b>-14,17</b>	30,40	29,84	<b>-0,56</b>	31,61	30,56	<b>-1,05</b>
60	85	26,13	33,13	<b>7,00</b>	27,00	33,60	<b>6,60</b>	28,03	34,40	<b>6,37</b>
70	85	22,67	36,62	<b>13,95</b>	21,02	37,14	<b>16,12</b>	21,75	38,03	<b>16,28</b>
80	85	23,89	39,95	<b>16,06</b>	21,45	40,50	<b>19,05</b>	21,71	41,47	<b>19,76</b>
90	85	29,85	43,12	<b>13,27</b>	27,62	43,73	<b>16,11</b>	27,35	44,77	<b>17,42</b>
50	90	28,10	34,93	<b>6,83</b>	26,62	35,42	<b>8,80</b>	23,80	36,27	<b>12,47</b>
60	90	26,86	39,33	<b>12,47</b>	19,26	39,88	<b>20,62</b>	18,73	40,83	<b>22,10</b>
70	90	41,88	43,48	<b>1,60</b>	43,51	44,08	<b>0,57</b>	41,38	45,14	<b>3,76</b>
80	90	25,76	47,42	<b>21,66</b>	23,69	48,08	<b>24,39</b>	27,37	49,23	<b>21,86</b>
90	90	28,81	51,19	<b>22,38</b>	23,12	51,91	<b>28,79</b>	24,89	53,15	<b>28,26</b>

## NOTATIONS

Ft : Effort de résistance à la traction ,(daN).

$\alpha$  : Angle d'inclinaison, ( $^{\circ}$ ).

$\gamma$  : Angle d'ouverture, ( $^{\circ}$ ).

w : Humidité du sol, (%).

a : Profondeur de travail, (m).

b : Largeur de travail, (m).

d : Densité apparente du sol, ( $g / cm^3$ ).

g : Gravité terrestre, ( $m / s^2$ ).

v : Vitesse de travail, (m/s).

Ftw1v1 : Effort pour l'humidité 1 et pour la vitesse 1.