



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للزراعة

Département : Génie Rural

القسم: الهندسة الزراعية

Spécialité : Science et techniques des agroéquipements

التخصص: علوم وتقنيات المعدات الزراعية

Mémoire De Fin D'études

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Présenté Par :

RAHLI BOUTHEINA KATR ELNADA

THEME :

Development of an empirical model based on the dimensional analysis for predicting the fuel consumption of two Tractors: DEUTZ FAHR Agrotrac and Torpedo TD 68

Soutenu Publiquement le 01/07/2026

Devant le jury composé de :

Mémoire dirigé par :

M. FEDDAL Mohamed Amine (Professeur, ENSA d'El-Harrach)

President :

M. MOHAMMEDI Zekari (Maitre de conférences "A" - ENSA - d'El-Harrach)

Examineur : M. YACHI Abdelouahid (Maitre de conférences "B" - ENSA - d'El-Harrach)

Academic Year 2021–2026

Abstract

This study aims to develop empirical models for predicting the hourly fuel consumption of two agricultural tractors, namely the Torpedo TD68 and the DEUTZ FAHR Agrotrac, using dimensional analysis as a modelling tool. The experiments were conducted in two contrasting agroecological regions: the ENSA experimental station in Algiers, located in the Mitidja plain, and the ITGC station in Sétif, representative of the semi-arid High Plateaus. The measurements focused on the physico-mechanical properties of the soil, including soil moisture, bulk density, porosity and penetration resistance, as well as tractor operating parameters such as forward speed, engine speed, working depth, wheel slip and fuel consumption.

The results obtained in Algiers showed that tillage operations improved the structural condition of the worked soil layer by reducing penetration resistance, particularly after the use of the vibrocultivator and the cover-crop. However, plowing with the Torpedo TD68 revealed a major limitation in traction performance, with a very high wheel slip of 54.40%, indicating significant energy loss through skidding and low efficiency in power transmission to the soil. In Sétif, deep tillage at 50 cm using the DEUTZ FAHR Agrotrac resulted in a significant reduction in penetration resistance, indicating good fracturing of compacted soil horizons. However, this operation required a high energy demand, with fuel consumption increasing from 6.15 L/h under no-load conditions to 54.9 L/h under load. Despite this, wheel slip remained at 13.80%, which corresponds to an optimal traction range.

Dimensional analysis, based on Buckingham's theorem, made it possible to establish the following general model:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot K \cdot (\delta)^a \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^b \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^c$$

Two specific models were obtained. For Algiers:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.021 \cdot (\delta)^{0.62} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.28} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{0.91}$$

For Sétif:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.034 \cdot (\delta)^{0.48} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.31} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{1.12}$$

The comparison of the two models shows that penetration resistance is the most determining factor in fuel consumption, especially in Sétif, while wheel slip has a greater influence on fuel consumption in Algiers. These models represent useful tools for optimizing tractor–implement selection, reducing energy losses and improving the efficiency of agricultural mechanization.

Keywords: fuel consumption, agricultural tractor, dimensional analysis, wheel slip, soil properties, mathematical models.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نماذج تجريبية للتنبؤ بالاستهلاك الساعي للوقود لدى جرارين زراعيين، وهما Torpedo TD68 و DEUTZ FAHR Agrotrac، وذلك بالاعتماد على التحليل البعدي كأداة للنمذجة. أُجريت التجارب في منطقتين زراعتين مختلفتين من حيث الخصائص البيئية والمناخية، وهما المحطة التجريبية للمدرسة الوطنية العليا للفلاحة بالجزائر العاصمة، الواقعة في سهل متيجة، ومحطة المعهد التقني للزراعات الكبرى بسطيف، التي تمثل ظروف الهضاب العليا شبه الجافة. وقد شملت القياسات الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة، خاصة الرطوبة، والكثافة الظاهرية، والمسامية، ومقاومة الاختراق، إضافة إلى معايير تشغيل الجرار مثل سرعة التقدم، وسرعة دوران المحرك، وعمق العمل، وانزلاق العجلات، واستهلاك الوقود.

أظهرت النتائج المتحصل عليها في الجزائر أن عمليات خدمة التربة حسّنت الحالة البنوية للطبقة المفلوحة من خلال تقليل مقاومة الاختراق، خاصة بعد استعمال آلة الـ Vibrocultivator والـ Cover-crop. غير أن عملية الحرث باستعمال الجرار Torpedo TD68 كشفت عن محدودية كبيرة في أداء الجر، حيث بلغ انزلاق العجلات قيمة مرتفعة جدًا قدرها 45.04%، مما يدل على فقدان معتبر للطاقة بسبب الانزلاق وضعف كفاءة نقل القدرة إلى التربة. أما في سطيف، فقد أدى العمل العميق على عمق 05 سم باستعمال الجرار DEUTZ FAHR Agrotrac إلى انخفاض واضح في مقاومة الاختراق، وهو ما يدل على تفكيك جيد للأفاق المتماسكة والمضغوطة. غير أن هذه العملية تطلبت استهلاكًا مرتفعًا للطاقة، حيث انتقل استهلاك الوقود من 0.5 لتر/ساعة في حالة الفراغ إلى 5.04 لتر/ساعة في حالة العمل. ورغم ذلك، بقي انزلاق العجلات في حدود 8.53%، وهي قيمة تقع ضمن المجال الأمثل للجر.

سمح التحليل البعدي، المعتمد على نظرية باكنغهام، بوضع النموذج العام الآتي:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot K \cdot (\delta)^a \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^b \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^c$$

وقد تم الحصول على نموذجين خاصين. بالنسبة لموقع الجزائر:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.021 \cdot (\delta)^{0.62} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.28} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{0.91}$$

أما بالنسبة لموقع سطيف:

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.034 \cdot (\delta)^{0.48} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.31} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{1.12}$$

تظهر المقارنة بين النموذجين أن مقاومة الاختراق تمثل العامل الأكثر تأثيرًا في استهلاك الوقود، خاصة في موقع سطيف، في حين أن انزلاق العجلات يؤثر بشكل أكبر على الاستهلاك في موقع الجزائر. وتمثل هذه النماذج أدوات مفيدة لتحسين اختيار مجموعة الجرار-الآلة، وتقليل الفواقد الطاقوية، ورفع كفاءة المكننة الزراعية.

الكلمات المفتاحية: استهلاك الوقود، الجرار الزراعي، التحليل البعدي، انزلاق العجلات، خصائص التربة، النماذج الرياضية.

Résumé

La présente étude vise à développer des modèles empiriques de prédiction de la consommation horaire de carburant de deux tracteurs agricoles, le Torpedo TD68 et le DEUTZ FAHR Agrotrac, à partir de l'analyse dimensionnelle. Les expérimentations ont été réalisées dans deux régions agroécologiques contrastées : la station expérimentale de l'ENSA d'Alger, située dans la plaine de la Mitidja, et la station de l'ITGC de Sétif, représentative des Hautes Plaines semi-arides. Les mesures ont porté sur les propriétés physico-mécaniques du sol, notamment l'humidité, la densité apparente, la porosité et la résistance à la pénétration, ainsi que sur les paramètres de fonctionnement du tracteur : vitesse d'avancement, régime moteur, profondeur de travail, glissement des roues et consommation de carburant.

Les résultats obtenus à Alger montrent que les opérations de travail du sol améliorent l'état structural de la couche travaillée en réduisant la résistance à la pénétration, notamment après le passage du vibroculteur et du cover-crop. Toutefois, le labour réalisé avec le Torpedo TD68 a révélé une forte limitation de la performance de traction, avec un glissement très élevé de 54,40 %, traduisant une perte importante d'énergie par patinage et une faible efficacité de transmission de la puissance au sol. À Sétif, le travail profond à 50 cm avec le DEUTZ FAHR Agrotrac a permis une réduction importante de la résistance à la pénétration, indiquant une bonne fissuration des horizons compactés. Cependant, cette opération a nécessité une forte demande énergétique, la consommation passant de 6,15 L/h à vide à 54,9 L/h en charge. Malgré cela, le glissement est resté de 13,80 %, valeur correspondant à une plage optimale de traction.

L'analyse dimensionnelle, basée sur le théorème de Buckingham, a permis d'établir le modèle général suivant :

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot K \cdot (\delta)^a \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^b \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^c$$

Deux modèles spécifiques ont été obtenus. Pour Alger :

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.021 \cdot (\delta)^{0.62} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.28} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{0.91}$$

Pour Sétif :

$$Ch = \frac{P L^2}{W} \cdot 0.034 \cdot (\delta)^{0.48} \cdot \left(\frac{V}{LN}\right)^{0.31} \cdot \left(\frac{RpL^2}{W}\right)^{1.12}$$

La comparaison des deux modèles montre que la résistance à la pénétration est le facteur le plus déterminant, surtout à Sétif, tandis que le glissement influence davantage la consommation à Alger. Ces modèles constituent des outils utiles pour optimiser le choix tracteur-outil, réduire les pertes énergétiques et améliorer l'efficacité de la mécanisation agricole.

Mots-clés : consommation de carburant, tracteur agricole, analyse dimensionnelle, glissement, Propriétés du sol, modèles mathématiques.

Table of Contents :

<i>Dedication:</i>	3
<i>Acknowledgements:</i>	4
List of Figures :	12
List of Tables :	13
<i>I. INTRODUCTION</i>	14
I. 1) GENERAL INTRODUCTION	1
I. 2) Research Problem:	3
I. 3) Objectives of the Study	4
I. 3) a. General Objective	4
I. 3) b. Specific Objectives	4
<i>II. LITERATURE REVIEW</i>	5
II. Part 1: State of Agricultural Mechanization in Algeria	6
1) A. Definition and Strategic Role of Agricultural Mechanization	6
1) B. Historical Development of Agricultural Mechanization in Algeria	6
1) C. Current State of Agricultural Machinery in Algeria:	7
1) D. Socio-Economic Drivers of Mechanization	8
II. Part 2: State of Agricultural Tractor Fleet and Traction in Algeria	9
2) A. Structure of the Agricultural Tractor Fleet	9
2) B. Technical Interpretation of the Fleet Structure	9
2) C. Ageing and Efficiency Issues of the Tractor Fleet	10
2) D. National Tractor Industry and Recent Developments.....	11
II. Part 3 : Fuel Consumption in Agricultural Tractors : Determinants and Modelling Approaches	15
II. Part 4 : Influence of Soil and Climatic Conditions on Tractor Fuel Consumption	19
II. Part 5: Dimensional Analysis in Agricultural Engineering Applications	21
II. 5) A. Explanation of Buckingham π theorem	23
II. 5) B. Theoretical Framework: Kuczewski's Model of Soil Resistance	24
II. 5) C. The Significance of Dimensionless Coefficients (N)	25
II. 5) D. Application to Agricultural Engineering	25
II. Part 6: Models for Estimating Hourly Fuel Consumption of Agricultural Tractors	26
II. 6) A. Introduction to Fuel Consumption Models	26
II. 6) B. Classical Empirical Models (ASABE)	26
II. 6) C. Physical Models (Mechanistic Approach)	27

II. 6) D. Statistical Models (Regression-Based)	28
II. 7) General Conclusion of the Literature Review:	31
III. MATERIAL AND METHODS	
34	
III. 1) <i>Study Sites Description and Experimental Timeline:</i>	35
III. 2) <i>Soil Characteristics and Textural Classification:</i>	36
III. 2) A. ENSA-Algiers Soil Profile:	36
III. 2) C. ITGC-Sétif Soil Profile:	40
III. 3) <i>Experimental Machinery and Tillage Implements:</i>	41
III. 4) Tillage Implement Specifications :	43
III. 5) <i>Field Sampling Protocols and Experimental Methods:</i>	46
III. 5) A. Chronological Field Monitoring Scheme:	46
III. 5) B. Soil Sampling Equipment and Laboratory Assays:	46
III. 6) <i>Mathematical Formulations and Derivations:</i>	49
III. 7) Tractor Kinematics, Wheel Slip, and Fuel Consumption Equations:	50
III. 8) <i>Fuel Consumption Profiling</i>	51
III. 9) <i>Statistic Organisation and Data Management</i> :	53
IV. RESULTS AND DISCUSSIONS	54
IV. 1) <i>Results</i> :	55
IV. 1) A. Results of ALGIERS	55
a. Analysis of Variations in the Physico-Mechanical Characteristics of the Seedbed ..	55
b. Impact of the succession of tillage implements on soil moisture:	55
c. Impact of the succession of tillage implements on total soil porosity:	58
d. Impact of the succession of tillage implements on total soil bulk density:	61
e. Impact of tillage techniques on soil pore saturation rate:	63
f. Impact of tillage techniques on penetrometric resistance:	65
g. Evaluation of the mechanical and energetic response of the agricultural equipment	68
h. Statistical Analysis and Scientific Interpretation of Relationships Between Soil	
IV. 1) B. Results of SETIF	80
a) Impact of tillage on soil moisture:	80
b) Impact of tillage on porosity:	82
c) Impact of tillage on total soil bulk density:	85
d) Impact of tillage on soil pore saturation rate:	88
e) Impact of tillage on penetrometric resistance:	91
f) Analysis of Tractor performance:	94
g) Relationship Between Parameters in ITGC-Setif	97
h) Factors that INCREASE Tractor Slip (Positive Coefficients +):	98

i) Factors that REDUCE Tractor Slip (Negative Coefficients –)	99
IV. 1) C. Mathematical Modeling of Fuel Consumption of an Agricultural Tractor: ...	
101 IV. 1) C. a) First Step: Construction of the dimensional analysis table	
.....	101
IV. 1) C. b) Second Step: Application of the first theorem of dimensional analysis to determine the number of π -Terms:	101
IV. 1) C. c) Third Step: Determination of the dimensionless terms (π -term)	101
IV. 1) C. d) Fourth Step: Construction of the π -Terms	102
IV. 1) C. e) Fifth Step: Application of the second theorem of dimensional analysis to determine the mathematical models	104
IV. 1) C. f) Empirical Model:	105
IV. 1) C. g) Linearization and Regression Analysis:	105
IV. 1) C. h) Model Formulation:	106
IV. 1) C. i) Interpretation of Results	106
IV. 1) C. j) Results and Discussion for Empirical Modeling of Tractor Fuel Consumption During Tillage Operations	107
IV. 2) A. Effects of Tillage Interventions on Soil Physical Properties:	113
IV. 2) B. Mechanical Resistance Dynamics and Soil Shearing Characterization:	114
IV. 2) C. Interface Mechanics: Soil Structure and Tractor Traction Performance:	115
IV. 2) D. Energetic Modeling of Volumetric Fuel Consumption:	116
IV. 2) E. Comparative Analysis of Regional Agro-Ecological Environments:	117
IV. 2) F. Comparative Evaluation with Previous Sétif Research Models:	118
IV. 2) G. Implications for Regional Agricultural Mechanization:	119
V. CONCLUSION:	
120	
V.GENERAL CONCLUSION	120
VI. REFERENCES	124
VI. A) Books	125
VI. B) Scientific Journal Articles	125
VI. C) Theses and Dissertations	128
VI. D) Technical Reports, Standards and Institutional Documents	129
VI. E) Institutional Sources Consulted	129
VI. F) Online Resources	129