

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية

-الحراش-

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie

El Harrach – Alger

Thèse

***En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en
sciences agronomiques***

Sujet

**Utilisation rationnelle de l'énergie pour la mise
en place des cultures :**

**Etablissement d'un programme informatique pour la détermination
de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires en vue de
l'optimisation des besoins énergétiques**

Présenté par : BADOUNA Baha-Eddine

Devant le jury :

Président : AIDAOUI Abdellah (Professeur - ENSA-El-Harrach)

Directeur de thèse : AMARA Mahfoud (professeur- ENSA-El Harrach)

Examineurs : HARTANI Tarik (Professeur – Centre universitaire Tipaza)

FADEL Djamel (professeur – Université Mohamed Cherif
Messaadia Souk Ahras)

Année universitaire : 2015 /2016

Abstract

The importance of the energy evaluation needs for the tillage operations is often a concern of the researchers specialized in agro equipment. To answer this question, the latter proposed several mathematical models for the evaluation of the effort of tensile strength. However the choice of the one of them, under precise soil conditions, often poses problem, seen the very significant number of parameter introduced into these models. Taking account of the difficulties of the choice of a mathematical model, among those proposed in the literature, the work presented in is a contribution which allows a wise choice of the model to be used by taking account of the precise terms of employment. For this purpose a computer program was conceived to quickly determine the effort of tensile strength starting from data and the preset work conditions. This program is called DERT (Determination of the Effort of Tensile Resistance). This computer tools are also, necessary to the establishment of a database on the energy needs in Algeria. Its generalization on the level of the various farms will allow the realization of a national card of the energy needs and consequently of an optimization of the agricultural equipment.

Works keys: Energy, Mathematical models, draught, software.

Résumé

L'importance de l'évaluation des besoins en énergie pour les opérations de préparation du sol est souvent une préoccupation des chercheurs spécialisés en agroéquipements, Pour répondre à cette question, ces derniers ont proposé plusieurs modèles mathématiques pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction. Cependant le choix de l'un d'eux, dans des conditions agro pédologiques précises, pose souvent problème, vue le nombre très important de paramètres introduits dans ces modèles. Tenant compte des difficultés du choix d'un modèle mathématique, parmi ceux proposés dans la littérature, le travail présenté est une contribution qui permet un choix judicieux du modèle à utiliser en tenant compte des conditions précises de travail. A cet effet un programme informatique a été conçu pour déterminer rapidement l'effort de résistance à la traction à partir de données et des conditions de travail prédéfinies. Ce programme est appelé DERT (Détermination de l'Effort de Résistance à la Traction). Cet outil informatique est aussi, nécessaire à l'établissement d'une base de données sur les besoins énergétiques en Algérie. Sa généralisation au niveau des différentes exploitations agricoles permettra la réalisation d'une carte nationale des besoins en énergie et par conséquent d'une optimisation de l'équipement agricole et de la consommation en énergie.

Mots clés : Energie, Modèles mathématiques, Effort de Résistance à la traction, Programme informatique.

ملخص

أهمية تقييم احتياجات الطاقة اللازمة للمعدات الزراعية في عمليات الحرث شغلت الباحثين، للإجابة على هذا السؤال، اقترحنا استعمال العديد من النماذج الرياضية لتقييم جهد قوة الشد. اختيار واحد منهم في ظروف التربة الزراعية المحددة، غالبا ما تمثل إشكالية، لعدد كبير جدا من المعلمات التي أدخلت في هذه النماذج. ونظرا للصعوبات في اختيار نموذج رياضي، من بين تلك المقترحة في هذا المجال، هذا العمل هو مساهمة التي تجعل من استخدام نموذج مع الأخذ بعين الاعتبار الظروف الخاصة للعمل. لهذا الغرض تم تصميم برنامج كمبيوتر لتحديد بسرعة قوة الشد من البيانات وظروف العمل مسبقا. ويسمى هذا البرنامج DERT (تحديد الجهد مقاومة للجر). هذا البرنامج أداة ضرورية لإنشاء قاعدة بيانات عن احتياجات الطاقة في الجزائر. على نطاق واسع في مزارع مختلفة. سوف يسمح بتحقيق خارطة وطنية من احتياجاتها من الطاقة، وبالتالي تحسين المعدات واستهلاك الطاقة الزراعي.

Table des Matières

Table des Matières	1
Liste des tableaux :	3
Liste des équations :	4
Liste des graphes :	4
Liste des figures :	5
Liste des Cartes :	7
Introduction et problématique.....	8
I^{ère} partie : Energie et Agriculture.....	11
Chapitre 1 : Notions sur l'énergie	11
1.1. Introduction.....	11
1.2. Définition de l'énergie	11
1.3. Unités de mesure.....	12
1.4. L'énergie primaire	14
1.5. L'énergie finale.....	15
1.6. L'énergie directe	15
1.7. L'énergie indirecte.....	15
Chapitre 2 : Energie et Agriculture dans le monde	16
2.1. Introduction.....	16
2.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs.....	16
2.3. Importance de l'énergie fossile en agriculture comparée aux autres formes d'énergies	17
2.4. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture.....	19
2.5. Conclusion	21
Chapitre 3 : Energie et Agriculture en Algérie	22
3.1. Introduction.....	22
3.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs.....	22
3.3. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture.....	29
Chapitre 4 : Besoins énergétiques pour la production d'une céréale (Blé).....	33
4.1. Introduction.....	33
4.2. Le déchaumage	37
4.3. Les labours.....	37
4.4. Les pseudo-labours (Reprise du labour)	40
4.5. Les travaux superficiels (Façons superficielles)	40
4.6. Le semis	40
4.7. La fertilisation, le traitement, le transport et la manutention	41
4.8. La récolte	42
4.9. Conclusion	43
II^{ème} partie : Méthodes d'évaluation de la consommation en énergie	44
Introduction.....	44
Chapitre 5 : Méthode classique (réservoir plein)	45
5.1. Estimation prévisionnelle de la consommation du carburant.....	46
5.2. Méthode d'estimation de la consommation a la prise de force	48
5.3. Origines principales des excès de la consommation du carburant	48
Chapitre 6 : Méthodes de la capacité de travail (W)	51
Chapitre 7 : Méthodes utilisant l'effort de résistance à la traction Ft	52
7.1. L'effort de résistance à la traction.....	52
7.2. Analyse des modèles mathématiques de l'effort de résistance à la traction.....	57
Chapitre 8 : Paramètres liés aux caractéristiques du sol	68
8.1. Propriétés physiques du sol.....	68
8.2. Propriétés mécaniques du sol.....	73
Chapitre 9 : Paramètres liés aux caractéristiques géométriques des outils aratoires	80
9.1. Forme générale des outils à surface actives gauches ou complexes (corps de charrue à socs)	80
9.2. Forme générale des outils à surface simple (Outils à dents)	83
Chapitre 10 : Paramètres liés aux conditions de travail.....	84
Chapitre 11 : Critiques des différentes méthodes	87
11.1. Avantages et inconvénient des méthodes de calcul de l'énergie.....	87
11.2. Analyse des modèles choisis.....	88
Conclusion	90

III^{ème} partie : Analyse des conditions de l'évaluation énergétique	92
Chapitre 12. Condition sols.....	94
12.1. Introduction.....	94
12.2. Sols	95
12.3. Cartes des sols en Algérie	98
12.4. Occupation des Sols Agricoles	100
12.5. Pédologie des sols en Algérie	106
12.6. Conclusion	109
Chapitre 13. Effet de l'état du tracteur et des machines agricoles	111
13.1. Introduction.....	111
13.2. Moyen de traction : le tracteur	112
13.3. Les Machines Agricoles.....	115
13.4. Conclusion	128
Chapitre 14 : Séquence de traitement de la bande de sol.....	130
14.1. Introduction.....	130
14.2. Approche comparée du machiniste et de l'agronome quant à l'étude du travail du sol.	130
14.3. Mode d'action d'un outil de travail du sol.....	132
14.4. Séquences de traitement d'une bande de terre	135
14.5. Conclusion	161
Chapitre 15 : Approche d'établissement de la Carte de la répartition des besoins énergétiques ...	162
15.1. Introduction.....	162
15.2. Rôle joué par les paramètres	163
15.3. Conclusion	168
IV^{ème} partie : Proposition (conception) d'un programme informatique pour la détermination des besoins en énergie pour la mise en place d'une culture	169
Chapitre 16 : Conception du programme informatique.....	169
16.1. Introduction et objectifs	169
16.2. Hypothèses de base pour la réalisation du programme informatique.....	169
16.3. Les unités utilisées pour l'évaluation dans le programme	170
16.4. Moyens et Méthodes	171
16.5. Modélisation conceptuelle	177
16.6. Conception physique de la base de données	193
V^{ème} partie : Essai d'établissement d'une carte énergétique et exploitation du programme D.E.R.T	195
Chapitre 17 : Etablissement d'une carte énergétique.....	195
17.1-Objectifs	195
17.2-Intérêt de l'établissement d'une carte des besoins en énergie	195
17.3-Méthodologie de cet établissement.....	196
17.4- Exploitation de la carte	211
Chapitre 18 : Utilisation du programme D.E.R.T.....	213
18.1. Fenêtre d'accès au serveur	214
18.2. Fiche menu.....	214
18.3. La fiche Agriculteur	216
18.4. La fiche parcelle.....	217
18.5. La fiche champs	219
18.6. La fiche Sol et Texture.....	221
18.7. La fiche Tracteur.....	223
18.8. La fiche Machines Agricoles	225
18.9. La fiche Calculs	226
18.10. Identification travail.....	228
18.11. Opérations.....	229
18.12 Calcul de l'énergie	230
Chapitre 19 : Utilisation du Q-GIS	232
Perspectives et applications.....	236
Conclusion générale.....	238
Bibliographie.....	241

Liste des tableaux

Tableau 1 : équivalent litre de fioul _____	14
Tableau 2 : conversion de tep _____	18
Tableau 3 : Consommation Finale par secteur d'activité _____	24
Tableau 4 : Consommation énergétique annuelle du secteur Ménages et Autres _____	27
Tableau 5 : Consommation énergétique annuelle du secteur Agricole _____	27
Tableau 6 : 20 premier importateurs de Blé au monde selon la FAO (2011) _____	34
Tableau 7 : Economies de carburant possibles en fonction du gonflage des pneumatiques _____	50
Tableau 8 : Principaux modèles de détermination de l'effort de résistance à la traction _____	65
Tableau 9 : Variation de l'effort de résistance à la traction suivant le type de sol : _____	69
Tableau 10 : Classes de textures et densités correspondantes _____	69
Tableau 11 : Relation générale entre la texture, la masse volumique apparente et la porosité des sols d'après (R. L. Hausenbuiller, 1985). _____	72
Tableau 12 : Résultats de la comparaison des moyennes des principaux paramètres et leurs effets sur l'indice de cône moyen _____	74
Tableau 13 : Propriétés Mécaniques des sols _____	79
Tableau 14 : Angles du soc Selon _____	80
Tableau 15 : Angles du versoir Selon _____	82
Tableau 16 : Variation de Ft en fonction du type du sol et de la vitesse _____	84
Tableau 17 : La caractéristique technique du tracteur a la prise de force. _____	85
Tableau 18 : Caractéristiques du sol _____	88
Tableau 19 : Conditions de travail _____	88
Tableau 20 : Valeurs de la profondeur et de la largeur de travail ainsi que du coefficient de stabilité de la bande de terre pour différents types de labours. _____	88
Tableau 21 : Caractéristiques angulaires constructives des différentes Formes de corps de charrues à socs. _____	89
Tableau 22 : Caractéristiques géométriques des outils à dents utilisés _____	89
Tableau 23 : Résultat de l'effort de traction pour un corps de la Charrue à socs _____	89
Tableau 24 : Résultat de l'effort de traction pour une dent du Cultivateur à dents _____	89
Tableau 25 : Indice de cône du sol par rapport à la texture du sol, teneur en humidité, et la densité apparente pour un travail de non-labour et travail du sol classique _____	98
Tableau 26: Nombre et taille des exploitations selon la tranche de la SAU _____	101
Tableau 27 : Répartition des exploitations et des superficies par culture _____	103
Tableau 28 : Tracteurs et Machines agricoles par exploitations _____	111
Tableau 29 : Tracteurs par cultures et par hectares _____	112
Tableau 30 : Tracteurs et leurs disponibilités par hectares et par an _____	113
Tableau 31 : Force de traction PMA T _____	114
Tableau 32 : Tracteurs Fabriqué en Algérie (périodes et quantités) _____	114
Tableau 33 : Machines Agricoles produite en Algérie _____	121
Tableau 34 : Valeurs des profondeurs et largeurs de travail pour les différents types de labours _____	149
Tableau 35 : Longueurs des phases entrées en traitement par rapport aux types de charrues à socs _____	156
Tableau 36 : variation de l'angle d'entrure en relation avec deux types de corps de charrues _____	157
Tableau 37 : Longueur de la phase entrée en traitement de la charrue à soc ENPMA _____	157
Tableau 38 : Longueur de la phase entrée en traitement de la charrue à soc SACRA _____	157
Tableau 39 : Coordonnées et Données nécessaire à l'évaluation _____	202

Tableau 40 : Résultats des évaluations des efforts de traction, puissances et énergies	203
Tableau 41 : Efforts de traction des opérations du travail du sol dit classique, puissances correspondantes et énergie nécessaire pour l'ensemble du travail.	204
Tableau 42 : Effort Moyen en daN d'une Charrue ENPMA pour les 5 Parcelles	207
Tableau 43 : Densité apparente selon la texture du sol pour une profondeur de 30cm	222
Tableau 44 : Valeurs de la densité, l'angle de frottement, cohésion et masse volumique associé à la texture du sol.	223
Tableau 45 : Tracteurs de la base de données initiale	224
Tableau 46 : Caractéristiques des Charrues à Socs ENPMA et SACRA	226
Tableau 47 : Travaux	228
Tableau 48 : Caractéristiques des Opérations	229

Liste des équations

Équation (1) : Consommation horaire (réservoir plein)	45
Équation (2) : Capacité de Travail W	51
Équation (3) : La Puissance	51
Équation (4) : Forces horizontales	54
Équation (5) : Résultante de l'Effort	56
Équation (6) : Gorjachkin	58
Équation (7) : Larson et Al	59
Équation (8) : Binesse	59
Équation (9) : Oskoui	60
Équation (10) : Gee Clough	61
Équation (11) : Qiong et Al	61
Équation (13) : Boubrit	62
Équation (14) : Amara	63
Équation (15)	70
Équation (16)	71
Équation (17) : Humidité	72
Équation (18) : Cône Index	74
Équation (19) : Relation de rupture de Coulomb	76
Équation (20) : Ft en phase entré en traitement	138

Liste des graphes

Graphe 1 : Consommation Nationale Annuelle en énergie du secteur Ménages et Autres	28
Graphe 2 : Consommation Nationale Annuelle de secteur Agriculture	29
Graphe 3 : Consommation Annuelle Nationale du secteur Agriculture par type d'énergie	30
Graphe 4 : Top de la production Algérienne en 2012 selon la FAO	34

Liste des figures

Figure 1 : la consommation mondiale d'énergie (hors bois) et son évolution mondiale.	19
Figure 2 : Consommation énergétique Nationale par secteur d'activité.	25
Figure 3 : Consommation énergétique nationale par produits pour les différents secteurs d'activité.	25
Figure 4 : Répartition de la consommation en énergie pendant l'itinéraire technique pour la mise en place d'une céréale blé.	42
Figure 5 : TASC V3.0 calcule les contraintes et les courbes de traction-patinage avec mention du seuil de cisaillement.	47
Figure 6 : Origines principales des excès de consommation.	49
Figure 7 : Boite de cisaillement	75
Figure 8 : Graphiques de l'équation de Coulomb.	77
Figure 9 : Caractéristiques dimensionnelles d'un corps de charrue à socs.	82
Figure 10 : Proportions des exploitations selon le statut.	102
Figure 11 : Modèle général du processus de travail du sol.	132
Figure 12 : Séquence de traitement de la bande de terre	136
Figure 13 : Les Trois Phases de la Séquence de traitement d'une bande de terre.	137
Figure 14 : Début de la séquence de traitement de la bande de terre	137
Figure 15 : Caractéristiques géométrique de la bande de terre	139
Figure 16 : Caractéristiques géométrique de la séquence de traitement de la bande de terre	139
Figure 17 : Séquence de traitement d'une bande de terre pour une dent	140
Figure 18 : Phase Traitement de la bande de terre	141
Figure 19 : La Phase de sortie du traitement de la bande de terre	142
Figure 20 : Représentation de côte bidimensionnelle de la Séquence de Traitement de la Bande de Terre	143
Figure 21 : Dénomination des Phases d'une Séquence de Traitement de la Bande de Terre.	144
Figure 22 : Tridimensionnalité de la Séquence de traitement de la bande de terre	145
Figure 23 : représentation graphique explicatif des différents paramètres constitutifs de la séquence de traitement de la bande de terre	147
Figure 24 : Vue de dessus de deux corps de charrue à socs	148
Figure 25 : Géométrie de la séquence de traitement des outils à versoirs et à disques	150
Figure 26 : Vue de face de la géométrie d'une séquence de traitement d'un outil à disque.	151
Figure 27 : Action de la dent en profondeur et l'hétérogénéité de l'action sur la séquence. Vue de face.	152
Figure 28 : Géométrie de la séquence de traitement d'un outil à dent	153
Figure 29 : l'effort de résistance à la traction dans une séquence de traitement de la bande de terre	154
Figure 30 : l'Energie dans les trois phases d'une séquence de traitement de la bande de terre	155
Figure 31 : représentation graphique de la phase entrée en traitement pour la charrue ENPMA	158
Figure 32 : Représentation graphique de la phase entrée en traitement pour la charrue SACRA	158
Figure 33 : l'Energie dans la séquence de traitement de la bande de terre.	159
Figure 34 : Différences des formes des parcelles Agricoles	160
Figure 35 : Schéma synoptique montrant les caractéristiques Influ ençant l'effort de résistance à la traction	162

Figure 36 : Dimensions principales d'un corps de charrue vue de face. _____	166
Figure 37 : Diagramme de conception de la base de données _____	192
Figure 38 : Tracer obtenu après superposition des cartes 6 et 7 _____	199
Figure 39 : Image Google Earth Pro de la Zone d'étude avec la carte Pédologique de Tipaza 1969. _____	199
Figure 40 : Image Google Earth Pro de la Zone d'étude avec Tracé du périmètre. ____	200
Figure 41 : Image Google Earth Pro avec le Tracé d'une parcelle. _____	200
Figure 42 : Image Google Earth Pro d'une parcelle caller sur la carte des sols de la wilaya de Tipaza _____	201
Figure 43 : Fiche connexion au programme _____	213
Figure 44 : Fiche configuration d'Adresse IP pour la connexion à la base de données	214
Figure 45 : Fiche menu du programme DERT _____	215
Figure 46 : Fiche de gestion des Agriculteurs _____	216
Figure 47 : Fiche Modification d'un Agriculteur _____	216
Figure 48 : Fiche Ajout d'Adresse Agriculteur. _____	217
Figure 49 : Fiche Ajout e-mail _____	217
Figure 50 : Fiche Suppression Adresse Agriculteur _____	217
Figure 51 : Fiche Ajout d'une Parcelle _____	217
Figure 52 : Fiche Choix Agriculteur pour une Parcelle _____	218
Figure 53 : Fiche Gestion des Parcelles _____	218
Figure 54 : Fiche Ajout d'un Champs _____	219
Figure 55 : Fiche Choix d'une parcelle pour un Champ _____	220
Figure 56 : Fiche Gestion des Champs _____	220
Figure 57 : Fiche Gestion des Tracteurs de la Base de Données. _____	224
Figure 58 : Fiche Gestion des Machines Agricoles de la Base de Données _____	225
Figure 59 : Fiche Gestion des Travaux _____	228
Figure 60 : Fiche Gestion des Opérations _____	229
Figure 61 : Fiche Détermination de l'Effort de résistance à la traction et énergie équivalente _____	230

Liste des Cartes

Carte 1 : ALGERIE ET TUNISIE-Régions naturelles	99
Carte 2 : Classification morphologique du nord de l'Algérie	100
Carte 3 : Occupation des sols du Nord de l'Algérie	104
Carte 4 : sols en Algérie.....	106
Carte 5 : Carte mondiale des sols zone Afrique du nord et Afrique centrale.	108
Carte 6 : Carte pédologique Tipaza 1969.	198
Carte 7 : Potentialités céréalières de la wilaya de typaza	198
Carte 8 : carte de répartition des efforts de traction d'une Charrue ENPMA évaluer avec le Modèle GORJASCHKIN.....	205
Carte 9 : carte de répartition des efforts de traction d'une Charrue ENPMA évaluer avec le Modèle AMARA.	206
Carte 10 : Carte de répartition des efforts de traction d'un CoverCrop évaluer avec le Modèle GeeClough.	206
Carte 11 : Carte de répartition des efforts de traction d'un Cultivateur à dents évaluer avec le Modèle BOUBRIT.	207
Carte 12 : Carte des besoins Energétiques en Calorie/seconde pour la somme des Trois opérations du travail du sol.....	209
Carte 13 : Carte des besoins Energétiques en Joule/seconde pour la somme des Trois opérations du travail du sol.....	210
Carte 14 : Carte des besoins Energétiques en Giga Joule/Heure pour la somme des Trois opérations du travail du sol.....	210
Carte 15 : Carte des besoins Energétiques en Tep pour la somme des Trois opérations du travail du sol.....	211
Carte 16 : Répartition Nationale des tracteurs 45 et 65cv	232
Carte 17 : Répartition Nationale des tracteurs à chenilles	233
Carte 18 : Répartition Nationale des Charrues	233
Carte 19 : Répartition Nationale des Cover-Crops	234
Carte 20 : Répartition Communale des tracteurs dans la Wilaya de Béchar	235

Introduction et problématique

L'agriculture moderne est marquée par l'accroissement de l'utilisation de l'**énergie** fossile et électrique ainsi que par la régression de l'utilisation de l'**énergie** musculaire (travail manuel et traction animale). Depuis la mécanisation, l'**énergie** a été un facteur déterminant dans la production agricole. Aujourd'hui encore cette dépendance se fait sentir sauf que les sources d'**énergie** se sont diversifiées. Dans les pays développés, elle est non seulement mesurée mais spécifiée pour chaque outil aratoire en fonction de chaque type de cultures.

En Algérie, la consommation énergétique dans le secteur de l'agriculture demeure aléatoire car elle n'a jamais fait l'objet d'une quantification. Ce constat est conforté non seulement dans le **Recensement Générale Agricole** de la F.A.O (2003) mais également par l'**Office National des Statistiques**. Il ressort de ces statistiques que seul le nombre de tracteurs et le ratio tracteur/SAU est exprimé sans aucune autre indication sur la consommation énergétique agricole. Ainsi, on se confronte à une absence quasi-totale de toutes informations qui définissent la consommation en énergie pour les machines agricoles ainsi que les conditions de travail et l'état des sols. Notre pays dispose de très peu d'informations sur la puissance.

Les **statistiques algériennes** formulées par l'**O.N.S** (Office National des Statistiques) et la FAO ne communiquent aucune information sur l'indice de motorisation ou celui de mécanisation. Il faut en outre signaler l'inexistence des données sur les **normes algériennes** pour l'équipement en **machines agricoles** qui permettraient une rationalisation des **fabrications** et des **importations** de ces **machines agricoles**.

Compte-tenu d'une absence totale sur l'évaluation énergétique dans le secteur agricole en Algérie, nous avons voulu apporter notre contribution en orientant nos travaux à travers cette thématique par la **conception** d'un **programme informatique** pour l'**évaluation** des **besoins en énergie** (effort de résistance à la traction et consommation du combustible) pour la mise en place d'une culture stratégique pour notre pays représentée par une céréale, le **blé**. Il est important de signaler que notre travail demeure un premier essai, par conséquent peut-être perfectible dans le temps et dans l'espace. Il consiste à un développement d'une **base de données** sur les **besoins en**

énergie des différentes opérations de **travail du sol agricole dans le cadre d'une culture céréalière, le blé**. Notre **objectif principal est axé sur une gestion économique et raisonnée des ressources énergétiques** utilisées pour toute production agricole. Dans le cadre de nos travaux il s'agit de la culture du blé. Nous avons également jugé utile de détailler l'information environnementale sur la puissance et les **besoins en énergie** utilisés par les machines agricoles dans un itinéraire technique prédéfini sur une région céréalière.

Un certain nombre de constructeurs de tracteurs et de machines agricoles ont commencé à concevoir et à développer des systèmes d'acquisition des données pour les incorporer dans le tableau de bord du tracteur avec les instruments déjà existant afin de fournir une information complète sur le fonctionnement du tracteur et des machines agricoles qui lui sont attelées afin d'augmenter leurs performances et d'atteindre leurs utilisations optimales. C'est Dans cette optique que les données collectées seront structurées dans un système intégré de **base de données**.

Les résultats obtenus seront utilisés pour développer des **systèmes d'informations** complets relatifs aux **besoins en énergie des machines agricoles et** pour l'établissement d'une **base de données** indispensable pour la gestion du parc Tracteurs - Machines agricoles. A noter que pour que cette démarche puisse aboutir dans le futur dans notre pays, il est impératif d'impliquer l'agriculteur et toute la chaîne de transmission des données à savoir depuis la Chambre d'agriculture de la wilaya, la Direction des services agricoles et le Ministère de l'Agriculture.

Pour diverses raisons le problème d'utilisation énergétique dans le secteur agricole en Algérie n'a jamais fait l'objet d'études sérieuses. C'est pour cette raison que nous avons étoffé notre partie bibliographique afin d'assurer aux informations relative inhérentes à notre thématique. Ainsi notre manuscrit est structuré comme suit :

- Dans la première partie, nous avons mis en relief l'importance de la **consommation énergétique** en agriculture et plus particulièrement lors des techniques de la mise en place des **grandes cultures** aussi bien à travers le monde et en Algérie.
- La seconde partie fût consacrée dans un premier temps sur les **besoins en énergie** pour chacune des **étapes de la mise en place** d'une **grande culture** celle du **blé qui**

est semblable à celle utilisée lors de nos travaux. Dans un second temps nous avons essayé de mettre en évidence les principales **méthodes d'évaluation de la consommation en énergie** pour les **opérations de préparation du sol.**

- La troisième partie est destinée à l'analyse des conditions d'évaluation de l'effort de résistance à la traction. Ainsi plusieurs modèles mathématiques ont été décrits en vue de déterminer l'énergie nécessaire à toutes les opérations spécifiques au travail du sol pour la mise en place des cultures.

- La quatrième partie a été totalement consacrée à un essai de conception d'un **programme informatique** qui permet l'évaluation des **besoins en énergie** dans l'effort de résistance à la traction et la **consommation de carburant** dans le cadre d'une culture céréalière importante pour notre pays, représentée par le blé. Ce **programme informatique** sera un **outil** intéressant pour l'**agriculteur** car il lui permet d'évaluer sa **consommation en carburant** lors de la **mise en place** d'une **grande culture.** Il lui permet également de **choisir** le type et la puissance du **tracteur** à utiliser dans des conditions prédéfinies.

Enfin, cet **outil informatique** sera utilisé pour l'établissement d'une **base de données** relative à la **consommation en énergie** pour les **techniques de préparation du sol.** Elle pourrait être un moyen pour une **cartographie nationale** sur la **consommation d'énergie nécessaire pour la réalisation des campagnes labours - semailles.**

I^{ère} partie : Energie et Agriculture

Nous avons, dans cette première partie, essayé de recenser les travaux qui nous ont paru intéressants et situant notre travail sur le plan national et international. Pour commencer nous allons donner un certain nombre de concepts liés à l'énergie et par la suite situés les consommations à l'échelle internationale et nationale ainsi que les différentes méthodes de l'évaluation de cette énergie.

Chapitre 1 : Notions sur l'énergie

1.1. Introduction

Il existe un certain nombre de définitions de l'énergie, suivant les domaines d'applications, suivant les institutions (ministère, société énergétique, organisation internationale, etc...)

Nous avons retenu celle jugée représentative des différents niveaux de présentation. L'énergie mondiale, l'énergie nationale et l'énergie dans une exploitation agricole.

1.2. Définition de l'énergie

L'énergie caractérise la capacité à fournir du travail, à donner du mouvement ou à élever la température. (*Source* : Direction générale de l'énergie et du climat, MEEDDM) dans (Talpin, 2010).

L'énergie se présente sous différentes formes, qui peuvent être :

- Mécanique (moteur, muscle) ;
- Thermique (feu, chaudière, radiateur) ;
- Electrique (éclair d'orage, alternateur, dynamo) ;
- Lumineuse (soleil, lampe) ;
- Chimique (aliment, carburant) ;
- Cinétique (voiture, ballon, vent) ;

- Nucléaire (soleil, centrale nucléaire).

1.3. Unités de mesure

1.3.1. Le joule (J)

Dans le système international d'unités (SI) , l'unité de mesure d'énergie est le Joule (J). Un joule correspond au travail nécessaire pour soulever à 1 mètre du sol une masse de 100 grammes.

- 1 mégajoule (MJ) = 1 million de joules.
- 1 giga joule (GJ) = 1 milliard de joules.

Le diagnostic énergétique Dia' Terre utilise le GJ pour exprimer les consommations d'énergies totales d'une exploitation agricole (directes et indirectes).

La puissance exprimée en watt (W) est la quantité d'énergie (en Joules) consommée ou produite par un appareil par unité de temps : $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

1.3.2. Le kilowatt/heure (kWh)

Le kilowatt/heure (kWh) est la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner un appareil d'une puissance de 1 kilowatt (kW), soit 1 000 watt (W), pendant 1 heure.

Exemple : une ampoule à incandescence de 50 W fonctionnant pendant une heure consomme 0,05 kWh.

Pour les fortes consommations d'énergie, l'unité utilisée est parfois le mégawatt/heure (MWh, 1 million de watt/heure). C'est également l'unité utilisée par le diagnostic énergétique Dia ' Terre pour l'énergie directe. Par souci de cohérence, cet ouvrage utilise donc le GJ et le kWh pour les consommations des exploitations agricoles.

- $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.
- $1 \text{ MJ} = 0,278 \text{ kWh}$.

Pour le gaz, on parle en MWh PCS ou en MWh PCI.

Le PCS est le pouvoir calorifique supérieure : il s'agit de la quantité de chaleur dégagée pendant la combustion d'une unité de masse du combustible. La plupart du temps, les fumées issues de cette combustion contiennent de l'eau sous forme de vapeur.

Le PCI, Pouvoir calorifique inférieure, se calcule en déduisant par convention, du PCS, la chaleur de condensation (2 511 kJ/kg) de l'eau formée au cours de la combustion, et éventuellement de l'eau contenue dans le combustible. Si le combustible ne produit pas d'eau, alors le PCS est égale au PCI. Le PCS est donc utilisé lorsqu'on recondense l'eau de la combustion (chaudière à condensation par exemple).

1.3.3. La tonne équivalent pétrole (tep)

Une tonne équivalent pétrole (tep) correspond à l'énergie utilisée pour la combustion d'une tonne de pétrole brut. Cette unité permet de comparer les énergies entre elles, et sur de grandes échelles (comparaisons sectorielles, nationales ou internationales...).

Voici quelques équivalences (source DGEMP, ministère de l'économie).

1 t de pétrole brut = 1 t de gazole = 1 t de fioul domestique = 1 tep.

- 1 t d'essence moteur = 1,048 tep.
- 1 t de houille = 0,619 tep.
- 1 MWh d'électricité nucléaire = 0,261 tep.
- 1 MWh PCS de gaz naturel = 0,077 tep.
- 1 stère de bois = 0,147 tep.
- 1 tep = 42 giga joules = 11 628 kWh.

1.3.4. L'équivalent litre de fioul (EQF)

L'équivalent litre de fioul (EQF) est l'unité utilisée dans les anciens outils de diagnostic énergétique en agriculture (par exemple le logiciel Planète). Un EQF correspond à l'énergie contenue dans un litre de fioul.

Cette unité permet de rassembler sous la même unité les consommations et les productions d'énergie de l'exploitation.

$$1 \text{ EQF} = 34,8 \text{ mégajoules} = 9,67 \text{ kWh} = 8,32 \cdot 10^{-4} \text{ tep.}$$

Tableau 1 : équivalent litre de fioul

Quelques références en EQF		
	Unité	Equivalent énergétique en EQF
Electricité	kWh	0,27
Fioul	Litre	1,14
Ammonitrate	Unité	1,47
Tourteau de soja	Tonne	161
Céréales	Tonne	70
Luzerne déshydratée	Tonne	370

Source : logiciel Planète, 2002 dans (Talpin, 2010).

1.4. L'énergie primaire

Selon l'INSEE, l'énergie primaire correspond à l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie titrée de la fission de l'uranium.

1.5. L'énergie finale

Selon l'INSEE, l'énergie finale ou disponible est l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer...).

1.6. L'énergie directe

L'énergie directe utilisée par une exploitation comprend les produits pétroliers et l'électricité consommée sur l'exploitation.

1.7. L'énergie indirecte

L'énergie indirecte correspond à l'énergie consommée pour la fabrication et le transport des intrants et matériels utilisés sur l'exploitation (engrais, aliments composés, semences, produits phytosanitaires, tracteur, bâtiments...).

Chapitre 2 : Energie et Agriculture dans le monde

2.1. Introduction

De tout temps l'agriculture absorbe de l'énergie. L'agriculture traditionnelle a consommé indirectement de l'énergie (l'énergie musculaire des hommes) et directement (cheptel de trait) lors de l'action agricole. Aujourd'hui cette forme d'énergie est réduite et devenue pratiquement insignifiante dans les pays industrialisés, car l'agriculture moderne recourt à d'autres formes d'énergie et principalement à de l'énergie fossile et électrique.

En effet, la plupart des systèmes de culture sont tributaires des sources d'énergie. Une part importante de cette énergie est due à la consommation de combustibles fossiles.

Si l'on compare les balances énergétiques des systèmes agricoles de différents pays, il semble clair que les intrants les plus importants dans les pays industrialisés sont respectivement : le carburant, les engrais, l'irrigation, les équipements, le séchage et les procédés de transformation sur l'exploitation. L'intrant énergétique des cultures vivrières de base ou des petits cultivateurs des pays en voie de développement est surtout associé aux travaux des hommes et des animaux et seule une petite partie concerne les engrais, les équipements, les carburants et les produits phytosanitaires.

2.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs

Dans les pays industrialisés, la production agricole consomme moins de 5% de l'énergétique totale utilisée pour tous les secteurs confondus. Pour les pays en voie de développement, il existe peu d'informations. En fait, on trouve un schéma de consommation tout à fait différent dans ces pays :

Dans la consommation totale d'énergie en France par exemple, l'agriculture, avec 4000 tep (tonne équivalent pétrole) représente à peine 1% (2% si on inclut les usages domestiques des ménages agricoles). L'énergie la plus utilisée est le fuel (50% des besoins) pour les moteurs. Après cette forme d'énergie, l'énergie électrique prend la deuxième position avec 30%, l'énergie électrique est utilisée entre autres pour les

productions animales et plus particulièrement au niveau des salles de traite et laiteries, les locaux d'élevage et l'irrigation.

Il serait intéressant de signaler que l'intensification de la production agricole entraîne une augmentation de la consommation d'énergie soit directement par l'utilisation des tracteurs et des différentes machines agricoles ou indirectement pour la transformation des productions agricoles. Ceci explique, que malgré la diminution du nombre d'exploitations, la consommation d'énergie ne cesse d'augmenter.

La moyenne de cette consommation se situe à 5,8 tep/exploitation ; les plus exigeantes sont les exploitations horticoles et productrices de légumes frais (20 tep/exploitation) suivies par les élevages hors sol (14 tep/exploitation). Les exploitations de grandes cultures se situent à peu près dans la moyenne, mais vu leur nombre, elles représentent 24% de la consommation énergétique agricole.(IE Energy (Innovation Engineering) Ltd, 2001)

2.3. Importance de l'énergie fossile en agriculture comparée aux autres formes d'énergies

Depuis toujours l'énergie a été un facteur déterminant dans la production agricole. Aujourd'hui encore cette dépendance se fait sentir sauf que les sources d'énergie se sont diversifiées. Ces sources d'énergie sont les matières premières ou les phénomènes naturels employés pour produire de l'énergie. On distingue les énergies non renouvelables (énergies fossiles) et les énergies renouvelables (énergie éolienne et solaire).

Les énergies fossiles sont essentiellement les combustibles solides, liquides ou gazeux, comme respectivement le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Les réserves de pétrole et de gaz sont difficilement accessibles (fond des océans, par exemple)

Le pétrole et le charbon ne possèdent pas la même valeur énergétique (Chapitre 1) : par combustion, 1 kg de pétrole produit 10 000 kilocalories (kcal), alors que la même masse de charbon cède 7 000 kcal et que 1 kg de gaz naturel fournit environ 8 000 kcal. On définit ainsi la tonne équivalent pétrole (tep), unité permettant de comparer les sources d'énergie au pétrole brut. Par convention, 1 tonne de pétrole correspond à 1,5 tonne de charbon ou à 1 000 m³ de gaz naturel.

Pour illustrer la comparaison entre les différentes formes d'énergie, nous reproduisons le tableau ci-dessous qui met en évidence la relation entre les différentes unités d'énergie et la tonne d'équivalent pétrole.

Tableau 2 : conversion de tep

Énergie	Unité physique	tep
houille	1 tonne	0,619 tep
coke de houille	1 tonne	0,667 tep
agglomérés et briquettes de lignite	1 tonne	0,762 tep
lignite et produit de récupération	1 tonne	0,405 tep
pétrole brut, gazole/fioul domestique, produits à usages non énergétiques	1 tonne	1 tep
GPL	1 tonne	1,095 tep
essence	1 tonne	1,048 tep
fioul lourd	1 tonne	0,952 tep
coke de pétrole	1 tonne	0,762 tep
bois	1 stère	0,147 tep

Source : (Anonyme, 2014).

Dans le monde, la consommation d'énergie sous forme de pétrole représente environ 44 % de la consommation en combustibles fossiles, celle du charbon, 31 % et celle du gaz naturel, 25 %. (Collectif and Mazoyer, 2002).

Pour (Pellecuer, 2006) Les énergies fossiles sont au premier rond au niveau mondiale dont les proportions sont les suivantes : pétrole, 34% ; gaz, 21% ; charbon, 24% ; nucléaire, 7% ; hydraulique, 3% ; renouvelable, 1% et autres formes diverses telles que la tourbe, le petit bois, 6%.

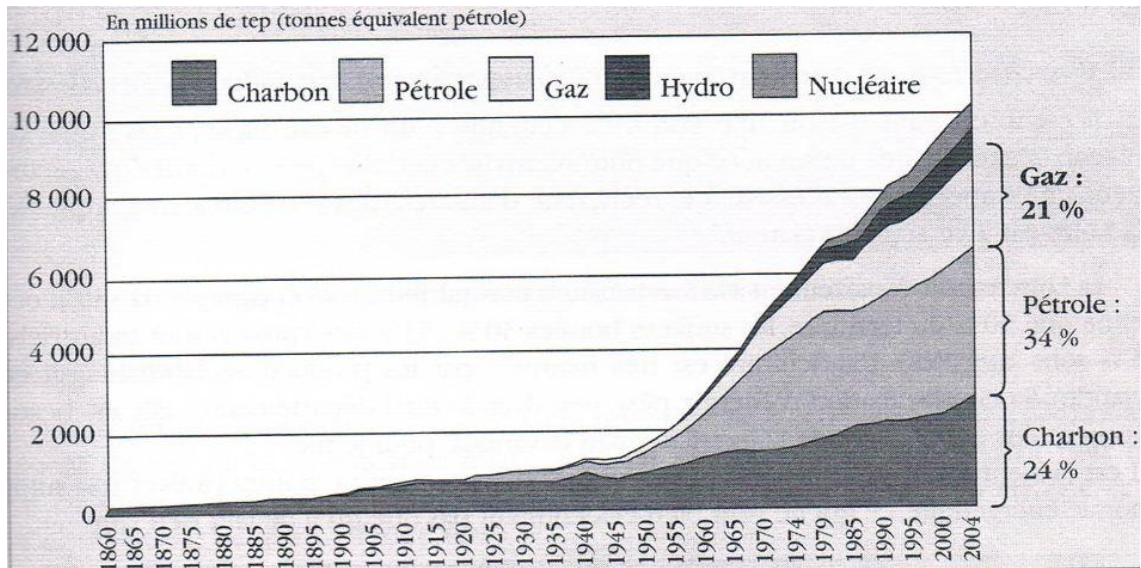


Figure 1 : la consommation mondiale d'énergie (hors bois) et son évolution mondiale.

Source : (Pellecuer, 2006)

Pour ce qui est de la production agricole, notamment pour les céréales, L'énergie nécessaire à la production de 1 kg de blé est de 1,5 lep (litre équivalent pétrole) et la quantité de pétrole requise pour la même quantité de blé produite (1kg) est de 1 litre. Ce litre de pétrole représente 66,66% de l'énergie total nécessaire à la production de 1 kg de blé. Alors que pour 1 kg de protéine de blé il faudra 3,5 lep en énergie totale et 2,5 litres de pétrole qui représente 71,43% de l'énergie totale.

2.4. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture

Les risques d'épuisement des sources d'énergie non renouvelables à terme ont imposé un retour à l'utilisation des sources d'énergies renouvelables. Le bois — ou plus généralement la biomasse — représente le combustible le plus fréquent dans les pays en voie de développement ; l'énergie hydraulique, jadis utilisée dans les moulins à eau, est actuellement exploitée dans les centrales hydroélectriques ; l'énergie marémotrice utilise le mouvement de grandes masses d'eau lors des marées ; l'énergie éolienne tire parti de la force du vent ; l'énergie solaire, qui peut être transformée en électricité ou en chaleur, est le plus grand espoir comme source d'énergie inépuisable.

Il est délicat de comparer objectivement les différents types d'énergie. Mais le faire permet de comprendre leurs complémentarités.

2.4.1. Energie solaire

L'énergie solaire peut être directement utilisée pour produire l'eau chaude nécessaire aux salles de traite et peut également être utilisée pour le séchage des fourrages des fruits et même des légumes. (IE Energy (Innovation Engineering) Ltd, 2001). Cette forme d'énergie prend de plus en plus d'importance dans le monde.

2.4.2. Energie éolienne

L'énergie éolienne permet la production d'énergie mécanique ou électrique. Les applications de cette énergie sont variées mais la plus importante consiste à fournir de l'électricité. Ils mettent en œuvre des machines de moyenne et grande puissance (200 à 2000 kW). Les éoliennes sont également utilisées pour le pompage de l'eau.

2.4.3. Energie hydraulique

L'énergie hydraulique résulte du mouvement de masses d'eau coulant le long des pentes naturelles. Pour pouvoir transformer cette énergie en travail utile, il est nécessaire de la concentrer, soit en tirant parti de chutes naturelles, soit par l'aménagement d'un barrage de manière à obtenir une hauteur de chute et un débit suffisant pour installer une centrale.

Contrairement à l'énergie fossile, les autres formes d'énergie disponibles dans la nature nécessitent cependant des processus de transformation souvent plus complexes et très coûteux.

2.5. Conclusion

L'agriculture, comme toutes les activités humaines, consomme de l'énergie, mais elle crée aussi des produits qui en contiennent. L'énergie consommée sert, entre autres, à faire fonctionner les véhicules et les machines agricoles, à fabriquer de l'équipement et des produits chimiques (engrais minéraux, pesticides, etc.) et à alimenter en électricité les habitations des agriculteurs. (Mac Gregor. R.J., et al, 2006).

Enfin, au niveau de cette première partie, il a été question de présenter succinctement l'importance de l'énergie dans le milieu agricole en rappelant brièvement l'importance de l'énergie fossile et son utilisation en agriculture.

Dans ce qui suit, l'intérêt sera porté sur l'Energie et l'Agriculture en Algérie.

Chapitre 3 : Energie et Agriculture en Algérie

3.1. Introduction

L'Algérie possède la première entreprise africaine dans l'énergie, 12^e au rang mondial de son domaine, c'est à dire la SONATRACH pour ce qui est des hydrocarbures et pour l'électricité c'est l'entreprise SONELGAZ qui exploite ces ressources.

Selon l'A. D. E. M. E (**Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie**), dans un contexte de relance économique, la demande d'énergie en Algérie peut doubler entre 2000 et 2020 et atteindre 60 à 70 millions de tep. Le potentiel cumulé d'économie d'énergie, pour cette même période, se situerait autour de 120 millions de tep. C'est pourquoi, à partir de 2001, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz, a mis en place une stratégie nationale de maîtrise de l'énergie adaptée à un contexte d'économie de marché.

L'un des instruments retenus pour le développement de cette stratégie est le programme national de maîtrise de l'énergie pour la période 2006-2010 dans les principaux secteurs consommateurs que sont l'industrie, les transports, le bâtiment et **l'agriculture**. Sa mise en œuvre est assurée par l'APRUE. (**Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie**).

3.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs

Les informations sur la part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs sont inexistantes pour la simple raison que l'ONS (Office National des Statistiques) et la RGA (MADR and FAO, 2003) ne donnent aucune information sur l'énergie consommée en agriculture ni dans d'autre secteurs. L'intérêt de l'ONS est porté seulement aux importations et exportations du carburant et lubrifiants, l'utilisation des carburants n'est pas spécifiée.

En 2010, le Ministère de l'Energie et des Mines, 2011 a publié pour la première fois dans l'histoire et dans un bilan énergétique nationale, la part des consommations énergétiques en agriculture. Depuis 2001, les bilans énergétiques algériens publient des

chiffres sur les consommations énergétiques finales par secteur (industrie & BTP, Transport et Ménages & Autres) et ce jusqu'à 2013. De 2001 à 2009 les bilans énergétiques donnaient un chiffre global des consommations finales du secteur Ménage & Autres, les consommations énergétiques de l'agriculture n'étaient jamais dissociées du secteur Ménages & Autres.

Ces chiffres publiés par le ministère restent insuffisants. Les sources du ministère pour les bilans de ces quatre années 2010, 2011, 2012 et 2013 sont respectivement :

1- SECTEUR DE L'ENERGIE :

1.1- SONELGAZ

- Bilan énergétique 2013 (provisoire) ;
- Rapport mensuel statistiques décembre 2013 ;
- chiffres clés 2013.

1.2- SONATRACH

- Bilan énergétique 2013 (provisoire) ;
- Note de conjoncture 4ème trimestre 2013 ;

1.3 - NAFTAL

- Bilan énergétique 2013 (provisoire).

2 - AUTRES SOURCES :

- 2.1- ARH : (Enlèvements en produits pétroliers des opérateurs privés) ;
- 2.2- CREG : (réalisation des auto-producteurs d'électricité) ;
- 2.3- Direction Générale des Forêts (DGF) : Bilan énergétique 2013 ;
- 2.4- Arcelor Metal Steel : Bilan énergétique 2013.

D'après (Ministère de l'Énergie et des Mines, 2015) dans le Bilan Énergétique National 2013, la consommation du secteur agricole a connu en 2013 une forte baisse de (-33,6%) passant à 248 Ktep.

Le tableau suivant présente un comparatif des consommations énergétiques nationales par secteur de deux années 2012 et 2013.

Tableau 3 : Consommation Finale par secteur d'activité

K tep	2012	2013	Evolution	
	Quantité		Quantité	(%)
Industrie et BTP, dont :	7 939	8 229	+290	+3,7
- Matériaux de construction	3 306	3 482	+176	+5,3
A- Cimenteries	1 483	2 072	+589	+39,7
B- Verreries	79	104	+24	+30,8
- ISMME	673	660	-13	-1,9
- BTP	375	346	-29	-7,6
- Industries Manufacturières	858	918	+60	+7,0
A -Industries Agroalimentaires	745	808	+64	+8,5
- Chimie	407	341	-66	-16,2
Transport, dont :	13 371	13 889	+518	+3,9
- Routier	12 636	13 132	+497	+3,9
- Aérien	531	548	+18	+3,3
Ménages et autres, dont :	15 068	16 425	+1 358	+9,0
- Résidentiel	11 077	12 269	+1 191	+10,8
- Agriculture	373	248	-125	-33,6
Total	36 377	38 543	+2 166	+6,0

Source : Bilan Énergétique National 2013 (Ministère de l'Énergie et des Mines, 2014)

De la même source il en ressort le graphe suivant :

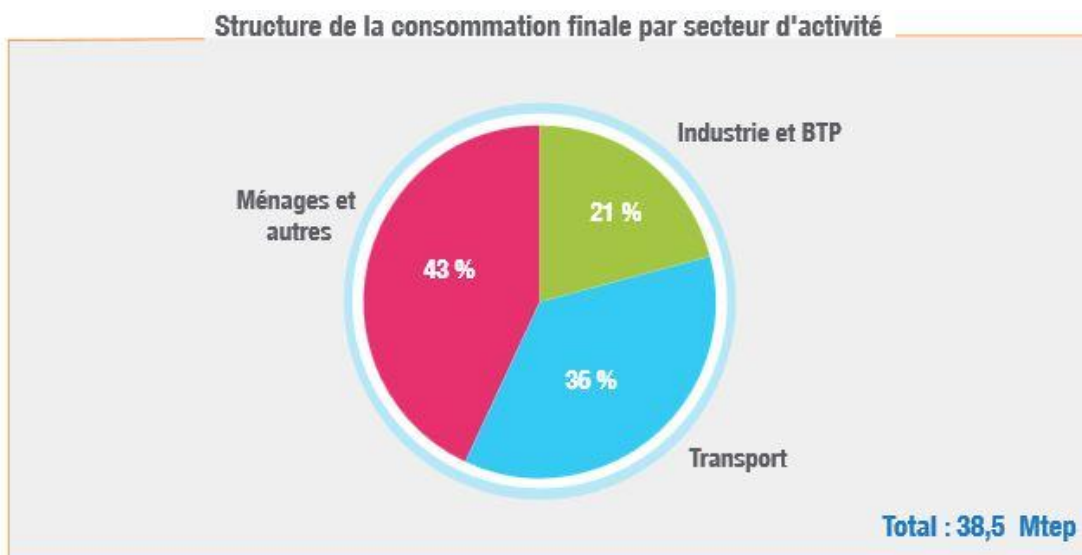


Figure 2 : Consommation énergétique Nationale par secteur d'activité.

Source : Bilan Energétique National 2013 (Ministère de l'Energie et des Mines, 2014)

Le graphe ci-après donne à la fois, la répartition de la consommation finale par produit et par secteur d'activité :

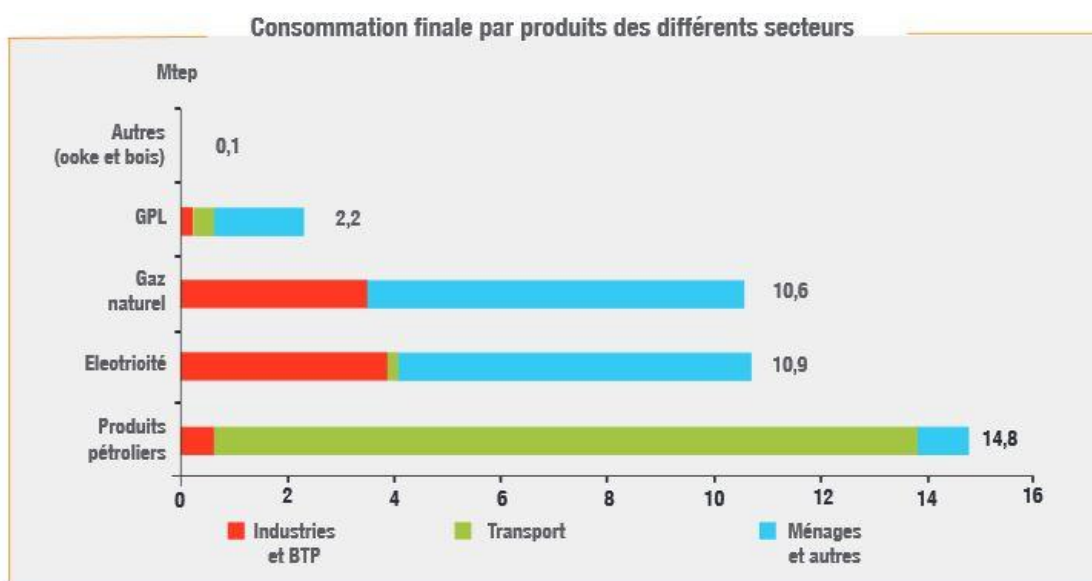


Figure 3 : Consommation énergétique nationale par produits pour les différents secteurs d'activité.

Source : Bilan Energétique National 2013 (Ministère de l'Energie et des Mines, 2014)

Du graphe ci-dessus, il ressort que :

- Plus de 90% des produits pétroliers sont consommés par le secteur du transport ;
- 62% de l'électricité est consommée par le secteur des ménages ;
- La consommation du gaz naturel par le secteur des « ménages et autres » représente 67% ;
- L'utilisation finale du GPL est orientée essentiellement vers le secteur des « ménages et autres » (77%), suivi par celui des transports (16%) et enfin l'industrie (7%).
- Les produits solides sont consommés à hauteur de 91% par le secteur de l'industrie (coke)

Une analyse des bilans énergétiques nationales Algérien des années 2001 à 2013 permet d'étudier l'évolution des consommations énergétiques du secteur agricole en Algérie durant une décennie et fait ressortir le graphe suivant à partir d'un tableau élaboré des bilans affiché par (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015).

Le tableau 4 est celui des consommations énergétiques du secteur Ménages et Autres qui donnent la somme des consommations énergétiques des ménages et des consommations agricoles sont distinction. Pour faire ressortir les dépenses énergétiques agricoles du secteur Ménages et autres il nous a fallu étudier minutieusement les annexes des bilans énergétiques. Toute fois les bilans des années 2010 à 2013 font ressortir systématiquement les consommations énergétiques nationales du secteur agricole des consommations Ménages et autres que nous avons regroupé dans le tableau.

Tableau 4 : Consommation énergétique annuelle du secteur Ménages et Autres

Année	Consommation énergétique (Ktep)	% d'évolution d'une année à l'autre
2001	9 588	-
2002	10 310	7.5%
2003	11 313	9.7%
2004	12 011	6.2%
2005	12 776-12 850 (*)	6.4%
2006	13 161	2.4%
2007	14 308	-
2008	15 144 - 12 442 (*)	5.8%
2009	13 063	5%
2010	12 415	-1.9%
2011	13 721 - 13 445 (*)	10.6%
2012	15 075 - 15 068 (*)	12.1%
2013	16 425	9%

(*) Valeur Contradictoire d'une Année à l'autre.

Source : (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015)

Nous avons remarqué des valeurs contradictoires des consommations énergétiques du secteur Ménages & Autres de 2001 à 2013. Ces valeurs contradictoires apparaissent toujours entre deux bilans. La contradiction la plus apparente est celle observée entre le bilan énergétique de 2008 et le bilan énergétique de 2009. Le plus petit écart représente 7 000 tonnes équivalent pétrole.

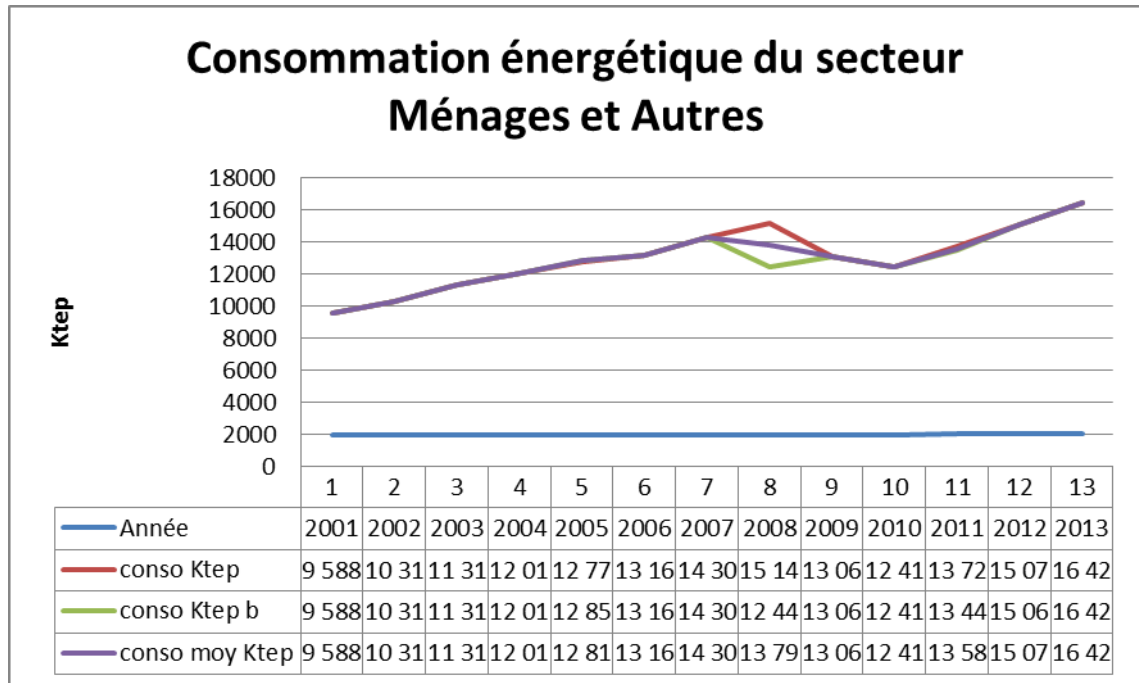
Tableau 5 : Consommation énergétique annuelle du secteur Agricole

Année	Consommation énergétique (Ktep)	% d'évolution d'une année à l'autre	% conso National
2009	224		0.7%
2010	322	44.1	1%
2011	348-350 (*)	8.5%	1.1%
2012	373-374 (*)	7.4%	1%
2013	248	-33.6%	-

(*) Valeurs Contradictaires d'une Année à l'autre.

Source : (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015)

Comme dans les valeurs des consommations énergétiques du secteur Ménages & Autres, les consommations du sous-secteur Agriculture, présente des valeurs contradictoires entre les bilans 2010-2011, 2011-2012 et 2012-2013. Le plus petit écart représente 2 000 tonne équivalent pétrole.



Graph 1 : Consommation Nationale Annuelle en énergie du secteur Ménages et Autres

Source : (Ministère de l’Energie et des Mines, 2015)

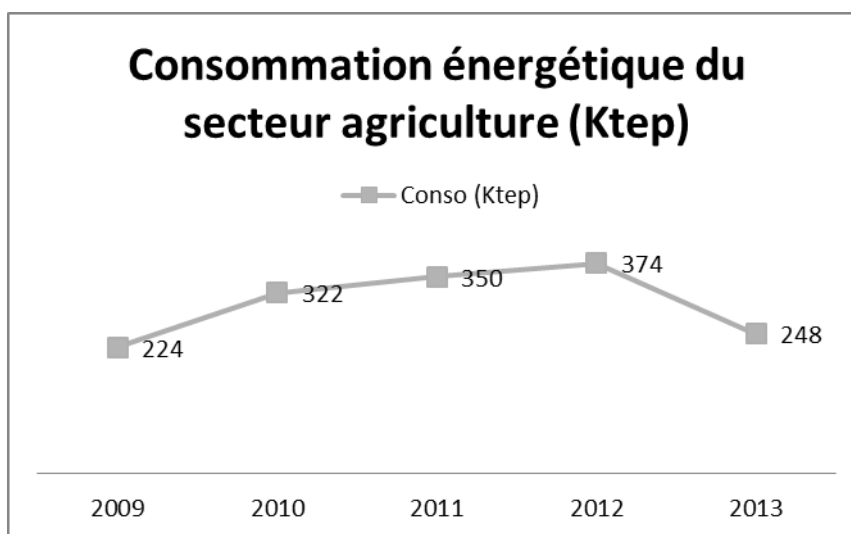
Du tableau 5 nous obtenons le graph 2 représentant l’évolution des consommations énergétiques nationales durant les années 2009, 2010, 2011, 2012 et 2013. La première remarque est que la tendance de la consommation énergétique du secteur Agriculture est croissante. La deuxième remarque est une baisse en 2013 représentant 33.6% d’une valeur de 126 Ktep. Il nous paraît très difficile d’expliquer cette baisse pour plusieurs raisons.

La première raison est que les années 2012 et 2013 étaient les années de début de l’indisponibilité de la main d’œuvre. Ce qui aurait induit normalement une utilisation plus accrue des machines agricoles pour combler le manque de la main d’œuvre et par conséquent nous devrions observer une augmentation de la consommation énergétique du secteur agricole. Mais au contraire la comparaison des bilans énergétiques, nous observons dans la période 2012 à 2013 une baisse de la consommation énergétique.

Il est possible toute fois que le manque de main d'œuvre à pousser les exploitants agricoles à réduire les surfaces travaillées et par conséquent nous observons une réduction des consommations énergétiques.

Certains problèmes avec les industries agroalimentaires ont eu un impact certain sur les surfaces travaillées durant la même période (2012-2013), par exemples dans l'Est de l'Algérie la fermeture de certaines conserveries à pousser les agriculteurs à réduire les surfaces d'exploitation toujours pour les mêmes cultures ou pour de nouvelles spéculations considérées comme plus rentable.

Une autre piste semble expliquer la baisse de consommation énergétique du secteur agricole lié directement à la reconversion de l'utilisation des tracteurs agricoles dans des secteurs hors agriculture. Des secteurs comme le BTP, le transport dans le bâtiment, le transport des eaux et une utilisation dans les villes par les communes et les municipalités. Nous résumons sous la forme d'un graphe 2 ci-dessous, la consommation énergétique du secteur agricole pour les cinq années 2009-2013.



Graphe 2 : Consommation Nationale Annuelle de secteur Agriculture

Source : (Ministère de l'Énergie et des Mines, 2015)

3.3. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture

Mise à part l'énergie fossile, une autre forme d'énergie est utilisée avec abondance en Algérie, il s'agit de l'**électricité**. Cette électricité est tirée directement du réseau électrique de la SONELGAZ qui reste le seul fournisseur d'**énergie électrique**

en Algérie. Il faut noter que l'**électricité** est produite dans des centrales qui utilisent plus particulièrement une **énergie fossile** qui est actuellement le **gaz naturel**.

L'énergie **solaire** et l'énergie **éolienne** sont très peu utilisées voir seulement dans des exploitations expérimentales et ces deux types d'énergie restent à l'état expérimental aucune généralisation de ces sources énergétiques ne sont prévues pour le moment. L'énergie nucléaire est totalement absente en Algérie pour le moment.

Des bilans énergétiques nationaux publiés par le ministère de l'énergie Algérien de l'année 2001 à l'année 2013 nous avons établi un tableau de la figure 3 des consommations annuelles du secteur agricole par type d'énergie consommé.

Il a été possible, à partir des données des différents bilans, d'élaborer le graphe ci-dessous (figure 3) représentant un résumé des bilans énergétiques nationaux 2010 à 2013 (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015).

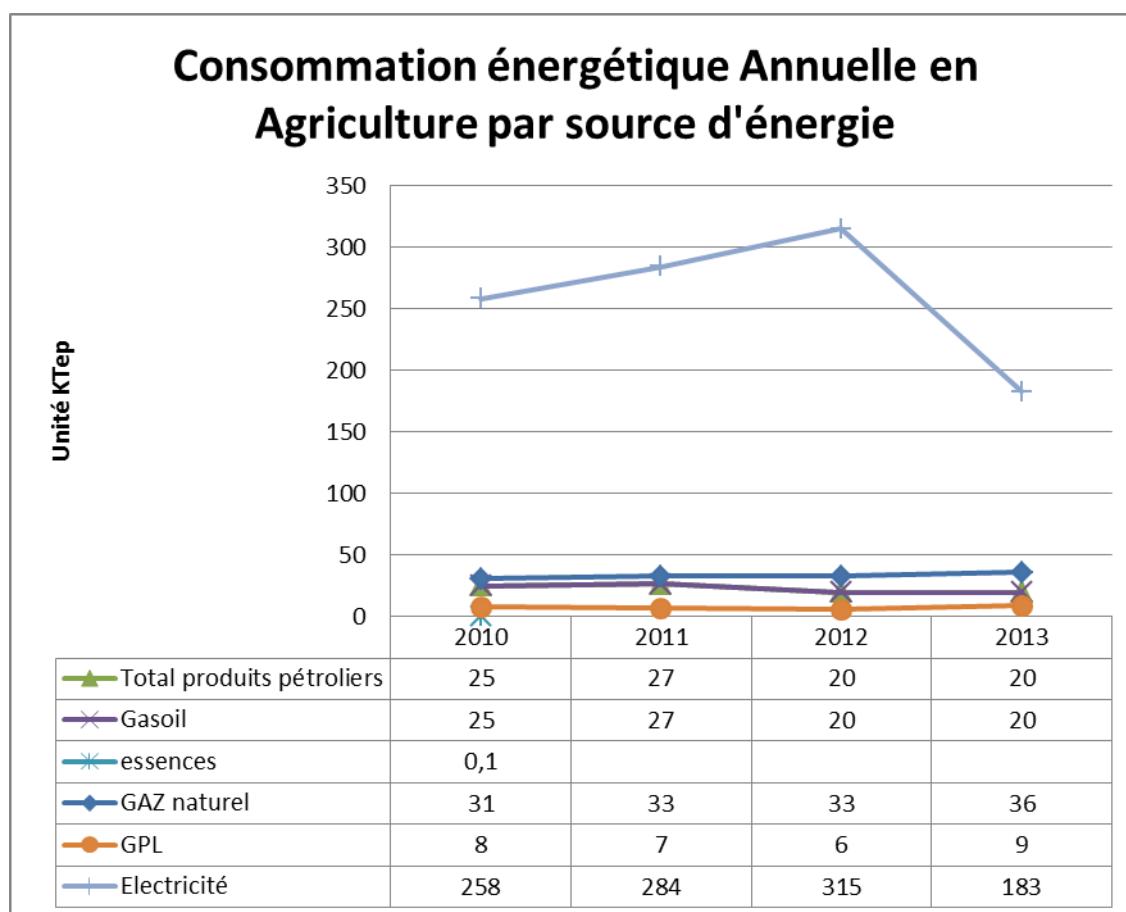


Figure 3 : Consommation Annuelle Nationale du secteur Agriculture par type d'énergie

Source : (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015)

Dans ces quatre années de bilan nous retrouvons les détails des consommations énergétiques du secteur Agriculture. A partir du bilan énergétique national 2010 (Ministère de l'Energie et des Mines, 2011) le ministère a commencé à faire ressortir la consommation du secteur Agriculture et de la séparer de celle des Ménages. Aussi il a fourni les quantités d'énergie consommées par le secteur Agriculture par types d'énergie.

Avant 2010 les bilans énergétiques algériens regroupaient les consommations du secteur Agriculture aux consommations résidentielles et cette somme est toujours appelée Ménages et autres. Cet éclatement d'information concernant les consommations énergétiques du secteur Agriculture qui a débuté en 2010 reste cependant insuffisant.

La première source d'énergie utilisée en Agriculture d'après les bilans énergétiques algériens (Ministère de l'Energie et des Mines, 2015) est l'électricité avec une moyenne sur quatre années de 260 KTep (260 000 Tep), avec un maximum de 315 KTep en 2012 et un minimum égal à 183 KTep en 2013. La deuxième source d'énergie pour le secteur Agriculture pour les mêmes années est le Gaz Naturel avec une moyenne 33.25 KTep, (Max= 36 KTep en 2013 et Min = 31 KTep en 2010). La troisième source d'énergie consommée est à la fois le total des produits pétroliers et le gasoil avec la même moyenne pour les deux sources et est égale à 23 KTep, avec des valeurs maximum 27 KTep en 2011 et minimum 20 KTep en 2012 et 2013. Finalement la dernière position des sources de consommation énergétique revient au GPL avec une moyenne sur les quatre années égale à 7.5 KTep, avec un maximum égal à 9 KTep en 2013 et un minimum de consommation sur les quatre années égal à 6 KTep en 2012.

Ce qu'il faut noter, c'est que généralement la consommation électrique en agriculture concerne les pompes électriques à eau pour tirer l'eau des forages et des puits pour certains réseaux d'irrigations (gravitaire ou en goutte à goutte). L'électricité est aussi utilisée dans les bâtiments d'élevages, les chambres froides et les administrations de certaines exploitations agricoles. Le Gaz Naturel et le GPL sont aussi utilisés le plus souvent dans les bâtiments d'élevages (ovins, bovins et volailles, etc...) essentiellement pour l'éclairage des ménages agricoles. Pour le gasoil et les produits pétroliers (graisse et huiles de vidange) sont utilisés dans les exploitations agricoles pour les groupes motopompes (pompage, irrigation), les groupes électrogènes mais surtout pour faire fonctionner et entretenir les tracteurs agricoles qui sont là pour mettre

à la disposition des agriculteurs et exploitants agricole l'effort de traction nécessaire aux travaux du sol pour la mise en place des culture et pour le transport à l'intérieure et à l'extérieure des parcelles agricoles ainsi que pour d'autres travaux comme la manutention. Cette fonction de transport des produits agricoles ainsi que les intrants agricoles utiles à l'itinéraire techniques des cultures reste ambiguë. Sont-elles comptabilisées comme consommation agricole ou consommation transport ? Les bilans énergétiques nationaux de toutes les années jusqu'à 2013 ne donne aucune précision.

Nos travaux portent, comme expliqué précédemment, sur la consommation énergétique lors de la mise en place des cultures. Donc la consommation visée est celle du gasoil lors de la préparation du sol. Dans d'autres termes quelle est l'effort nécessaire pour effectuer un travail du sol dans les meilleures conditions techniques et quelle est l'énergie qui correspond à cet effort de traction nécessaire pour un ou des travaux donnés avec les différents types de machines agricoles préalablement choisies. Pour cela l'utilisation des modèles mathématiques est indispensable.

Il serait intéressant de répondre à la question suivante, quelle est la consommation en énergie des ou d'une céréale exemple le blé ? Sachant que les céréales sont des cultures stratégiques encore plus le blé.

Chapitre 4 : Besoins énergétiques pour la production d'une céréale (Blé)

4.1. Introduction

La production céréaliculture en Algérie souffre d'un manque d'utilisation des techniques et des machines agricoles. Le blé dur occupe 43 % de la surface de production agricole du pays, suivi du blé tendre, qui en occupe 19 %. Néanmoins, l'Algérie doit quand même importer d'énormes volumes de blé pour satisfaire la demande nationale. Cependant, les différents programmes du développement agricole ont déjà commencé à influencer sur le rendement céréalier.

Bien que les techniques de production soient peu mécanisées, que les produits chimiques soient sous-utilisés car très chers pour les agriculteurs et que le système de rotation des cultures soit peu efficace, il y a eu un léger accroissement de la production de céréales en 2002-2003, et ce grâce à un niveau satisfaisant de précipitations d'une part, d'autres part grâce à l'application d'un programme national d'intensification des cultures céréalières et à l'appui technique fourni dans le cadre du plan national de mise en valeur de l'agriculture.

En 2005, l'Algérie s'était classée 33^{ème} producteur de blé avec 2,6 millions de tonnes et 6eme consommateur de blé 184,8 kg par personne et par an. En 2002 l'Algérie été 4eme importateur avec 5,9 millions de tonnes après l'Italie 7,7 millions de tonnes, le Brésil 6,5 millions de tonnes et l'Espagne 6,3 millions de tonnes. (Source : FAO)

Les dernières statistiques communiqué par la FAO en 2015 concernant l'année 2011, l'Algérie c'est classée 53^{ème} producteur de blé avec 3,43 millions de tonnes. Elle est aussi, pour cette même année, 2^{ème} importateur de blé au monde après l'Egypte avec 7,45 millions de tonnes.

Tableau 6 : 20 premiers importateurs de Blé au monde selon la FAO (Données ; 2011)

Position	Région	Quantité (tonnes)	Symbole	Valeur (1000\$)	Symbole	Valeur unitaire (\$/tonne)
1	Égypte	9800061	1	3199207	1	326
2	Algérie	7454603	1	2848496	1	382
3	Japon	6214220	2	2705620	5	435
4	Italie	7321062	1	2612493	2	357
5	Indonésie	5604861	1	2193987	1	391
6	Brésil	5740453	1	1832283	1	319
7	Turquie	4754682	1	1623089	2	341
8	République de Corée	4671336	2	1482356	3	317
9	Nigéria	4039669	1	1475304	1	365
10	Allemagne	4410957	1	1394659	15	316
11	Espagne	4355655	2	1336761	5	307
12	Maroc	3661864	1	1322600	1	361
13	Mexique	4047832	2	1321835	3	327
14	Pays-Bas	3906390	2	1163285	7	298
15	Iraq	2888833	1	1144839	1	396
16	Bangladesh	3112314	1	1082388	3	348
17	Belgique	3377584	2	1047205	7	310
18	Yémen	2686857	1	961895	1	358
19	Philippines	2766569	1	955282	1	345
20	Viet Nam	2421217	2	811218	4	335

Source : (FAOSTAT, 2015)

Le graphe suivant permet de situer la production du Blé dans la production agricole nationale. En valeur monétaire le Blé est en 4^{ème} position dans la production nationale avec 446 354 000 USD.

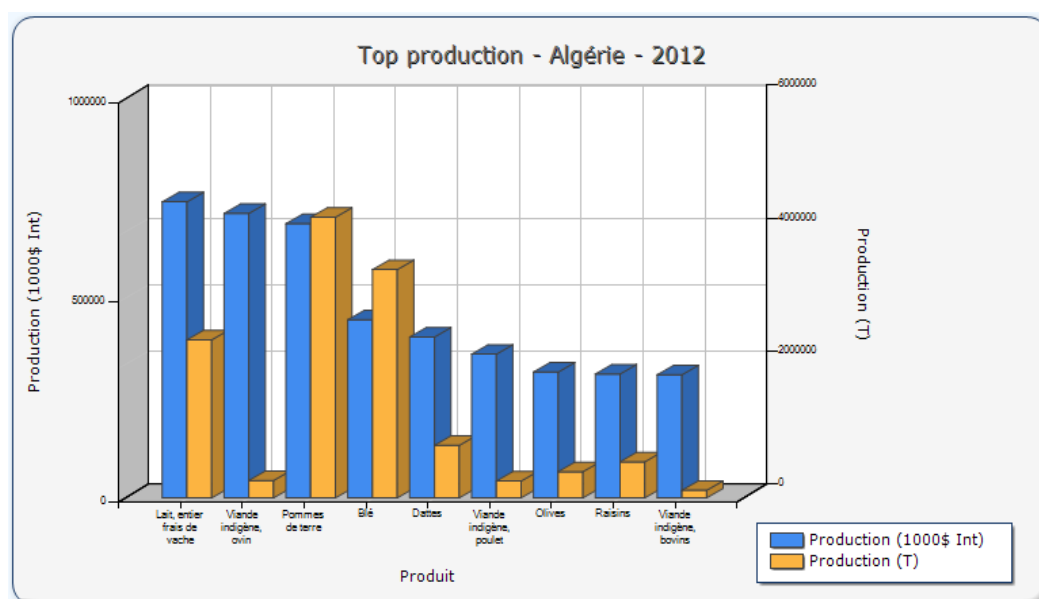


Figure 4 : Top de la production Algérienne en 2012 selon la FAO (FAOSTAT, 2015)

Dans les pays appelés communément en voie développement comme l'Algérie, nous constatons que l'on y consomme à la fois trop peu et trop d'énergie (Brown L.N, 1980) et qu'il faut à la fois augmenter et économiser de l'énergie dans l'agriculture, d'une autre façon, il faudrait optimiser l'utilisation de l'énergie.

Pour la céréaliculture algérienne la loi des rendements décroissants n'a pu être vérifiée que dans une certaine mesure, puisque la phase de développement des rendements grâce à la mécanisation n'a pas eu lieu, il n'y a eu que la phase de stagnation des rendements malgré l'augmentation des dépenses énergétiques par une plus grande mobilisation des machines agricoles surtout. En effet la mécanisation de la céréaliculture s'est généralisée surtout pour les travaux du sol et de récolte (Kheffache .Y, 1992).

Les importations de l'état algérien dépendent uniquement des exportations de matières énergétiques fossiles (pétrole et gaz) lorsque ces importations sont possibles. Pour cela l'Algérie doit maîtriser l'utilisation de l'énergie dans son aspect de consommation interne. Cette maîtrise doit viser l'économie d'énergie non pas en diminuant les consommations mais en progressant son rendement, en limitant son gaspillage. Pour cela les besoins doivent être bien évalués, c'est l'objet de ce qui suit.

Au niveau de notre travail, l'intérêt sera porté sur la part de l'énergie consommée au niveau de chacune des différentes étapes de l'itinéraire techniques pour la mise en place des grandes cultures. Pour cela nous choisirons le blé qui occupe la surface agricole la plus importante au niveau national. Cette surface est d'environ 47% de la surface agricole utile (SAU).

En système de "grandes cultures", la consommation d'énergie dépend principalement des modes de culture : niveau de fertilisation, d'irrigation et de la quantité de carburant. La consommation en énergie des cultures d'hiver est de l'ordre de 15 000 à 20 000 MJ/ha, soit 430 à 550 équivalents litres de fuel/ha selon les régions et les zones pédoclimatiques.

Les légumineuses nécessitent une consommation d'énergie plus faible liée directement à la basse, voire l'absence de la fertilisation azotée chimique. Le maïs est la culture la plus énergivore à cause de sa fertilisation, de la présence fréquente de l'irrigation, et de la nécessité du séchage. L'efficacité énergétique (rapport des

produits/dépenses) des cultures en système conventionnel est de l'ordre de 9 à 10 pour les légumineuses, 7 à 8 pour les céréales, 5 pour le colza, 4 à 5 pour le maïs. Les résultats de l'analyse énergétique d'une ferme de grandes cultures vont dépendre essentiellement de l'assolement et de la rotation mise en place.

La mise en place des céréales est en relation avec les conditions pédoclimatiques, et le niveau de la mécanisation de l'agriculture, les pratiques culturales peuvent être subdivisées en trois grandes catégories qui sont respectivement : la méthode dite classique de préparation du sol, la technique simplifiée et le semis direct.

En Algérie la préparation du sol pour la culture de blé diffère suivant certains critères, au Nord sur des sols à cohésion importante, les travaux sont plus importants (désherbage; labour; pseudo labour; travail superficiel) donc c'est la méthode classique, par contre en zones sahariennes les sols sont légers et les travaux sont plus superficiels, d'où l'intérêt d'introduire le semis direct dans ces zones.

Barthélemy. P et al., 1987 exprime clairement le gain en temps et l'économie de carburant possible en passant du système classique du travail du sol au système de simplification et en fin à celui du système de semis directe tout en gardant des réserves sur le semis directe dans les sols dis lourd ou à forte cohésion mais qui reste valable au sud dans l'agriculture saharienne dans les sols sont dit léger à très faible cohésion qui peut même être inexistante.

Rieu Catherine, 2001, montre que pour les grandes cultures, le temps de traction peut se situer entre 7 h/ha, dans les systèmes "labour" et 4 h/ha, voire moins, dans les systèmes très simplifiés comme le travail minimum ou le semis direct.

On remarque que la réalisation d'un travail du sol avec la méthode classique prend beaucoup de temps de traction par hectare par rapport à la méthode de simplification partielle ou totale du labour, donc les besoins énergétiques pour les labours seront aussi importants.

La consommation d'énergie, pour toute production agricole commence dès la première étape de l'itinéraire technique à savoir au niveau du déchaumage. Parmi les différentes étapes de l'itinéraire technique, pour la mise en place d'une grande culture donnée, la première, qui consiste donc à la préparation du sol, est celle qui consomme le plus d'énergie. En effet selon certains auteurs, (Severkey and Tsyganov, 1982), la

préparation du sol qui est la plus grande consommatrice d'énergie de tous les secteurs de l'agriculture, utilisent 50 à 80 % de l'énergie totale consommée au niveau d'une exploitation agricole. Les dépenses d'énergies imputables au seul labour peuvent aller jusqu'à 40 % de l'énergie consommée pour tous les travaux de mise en place d'une grande culture.

4.2. Le déchaumage

Dans une Etude du C. N. E. E. M. A, (CNEEMA, 1979) nous pouvons observer que la consommation du carburant varie de 9 à 13 litres suivant le type de l'outil de déchaumage utilisé. Avec un chisel la quantité de fuel est de 9 litres, avec un outil à socs, cette quantité est de 12 litres, l'utilisation d'un pulvériseur exige 13 litres.

4.3. Les labours

« Réalisé en automne, son objectif est de retourner la terre sur une profondeur comprise entre 25 et 30 cm en utilisant une charrue à disques ou à socs afin d'augmenté les réserves hydriques en profondeur du sol, l'amélioration de la fertilité naturelle du sol par la restitution et l'enfouissement des résidus de récolte et la réduction de l'infestation des adventices ainsi que la diminution de l'évaporation du sol. »

Selon l'étude du CNEEMA, 1979, la consommation de fuel pour le labour varie de 15 à 33 l/ha pour les profondeurs de labour respectives de 15 à 40 cm alors que pour le déchaumage avec un pulvériseur elle est de 13 l/ha et pour le sous-solage à 50 cm la consommation est de 24 l/ha. Nous remarquerons que les besoins en énergie sont très importants pour les seules opérations de préparation du sol.

Le temps de labour est de 2h 08' avec un tracteur de 78cv et une charrue bisocs réversible, tandis que le temps total des opérations de préparation classique du sol jusqu'au semis est de 4 h 28'. Le labour nécessite à lui seul, environ 50% du temps total utilisé pour la réalisation des opérations de travail du sol (Kessira. M, 1988).

Selon Barthélemy. P et al. 1987, le temps et la consommation de carburant d'un labour sur différents types de sols sont :

- Sol argileux le labour est fait en 2h 50 à 3h 30 pour une consommation de 60 à 80 l/ha,
- Sol Limon argileux le labour est fait en 2h 10 à 2h 50 pour une consommation de 35 à 45 l/ha,
- Sol Limon battant le labour est fait en 2h 10 à 2h 30 pour une consommation de 30 à 38 l/ha,
- Sol caillouteux le labour est fait en 2h 50 à 3h 30 pour une consommation de 35 à 45 l/ha

Un grand nombre de chercheurs traitant les consommations énergétiques lors des opérations de travail du sol proposent d'éliminer le labour considéré comme l'opération qui consomme le plus l'énergie dans un travail du sol dit classique ou conventionnel ; à titre d'exemples nous citerons également les travaux de Rusu, 2014 et Pratibha et al., 2015a. Nous remarquons donc, que la part de l'énergie consommée lors d'un labour est en moyenne de 50 pourcent de l'énergie totale nécessaire pour la mise en place d'une culture.

Raper (Raper, R. L. et al., 2000), proposent de diminuer la consommation énergétique de l'opération labour, pas en éliminant celle-ci, mais au contraire ils insistent sur le maintien de cette opération, avec une réduction de la profondeur du labour, pour toutes les considérations agronomiques connues et validées par d'autres chercheurs comme Gao et al., 2015.

D'après Pratibha et al., 2015b, il y a manque d'informations sur la consommation énergétique dans l'agriculture. Il en ressort de ces études que la consommation de carburant dans le Zéro Labour était de 58 et 81% de moins que la Travail du sol conventionnel. Il est cependant nécessaire de rappeler que l'un des objectifs du labour, à savoir la destruction des résidus végétaux est réalisée dans les nouvelles techniques par une consommation d'énergie indirecte contenue dans les produits phytosanitaires pour lutter contre les mauvaises herbes.

Selon Amara, 2007, cela serait une erreur de considérer la suppression du labour comme un objectif en soi pour réduire les besoins en énergie. Bien des situations justifient encore l'usage de cette pratique. C'est plutôt sous l'angle d'un nouveau moyen capable d'apporter des solutions à un problème donné qu'il faut considérer les travaux sans labour. Employées à bon escient, elles peuvent ouvrir de nouvelles perspectives

pertinentes pour l'agriculture du troisième millénaire, dont chacun s'accorde à dire qu'elle sera durable ou pas.

Ranjbarian et al. 2015, ont mis un système d'instrumentation mobile qui a été développé et monté sur un tracteur MF 285 pour mesurer des paramètres de performance du tracteur et des machines agricoles qui lui sont attelées. Les paramètres mesurés par le système mis en œuvre dans le projet sont : la consommation du carburant, vitesse réelle d'avancement, la profondeur de travail du sol et le régime du moteur. Les paramètres tels que le patinage des roues, la puissance, l'efficacité de la traction et l'efficacité énergétique globale pour le système tracteur-outil ont été calculés. Ces résultats montrent que l'augmentation de la vitesse lors des tests et correspondant aux opérations de travail du sol, qui sont le labour et pseudo labour, ont un double effet sur la consommation du carburant, l'augmentation de la vitesse de 1,5 km/h à 3 km/h provoque une diminution de la consommation du carburant alors qu'une augmentation de la vitesse de 3 km/h à 4 km/h fait augmenter la consommation du carburant.

Les gammes des paramètres mentionnés indiquent que l'économie d'énergie peut être facilement faite en sélectionnant les outils économes en énergie et par le bon dimensionnement de la puissance du tracteur et les paramètres de réglages du bon fonctionnement de l'outil.

Un des rôles essentiels du travail du sol est de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Pour cela, il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. (Amara, 2007)

Le système racinaire devrait donc être un critère important d'évaluation, par les agronomes et les agriculteurs, de la nécessité ou non d'une amélioration des caractéristiques physiques du profil cultural par le travail du sol, puis après réalisation, de l'efficacité de celle-ci. Malheureusement les systèmes racinaires des cultures sont encore peu connus car difficiles à observer au champ. C'est la face cachée de la plante.

Pour Amara, 2007 le labour a un effet favorable sur les systèmes racinaires des différentes cultures; il améliorera en particulier la vitesse de croissance en début de cycle et la colonisation du sol en profondeur. Il faut attribuer cet effet à une

modification de la porosité du sol et à une réduction de la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines, car ce sont les deux propriétés physiques du sol qui sont les plus modifiées par le labour (Charreau, C and Nicou, R, 1971) ; (Nicou, R, 1977). Dans les sols sableux mal structurés du Sénégal, des relations ont d'ailleurs été trouvées entre la porosité du sol en début de cycle et la densité racinaire (Nicou, R, 1974).

4.4. Les pseudo-labours (Reprise du labour)

Les pseudo-labours, étape qui suit le labour pour compléter la préparation du sol et diminuer le volume des mottes laissées par le labour. Cette opération permet le mélange des débris végétaux sur une profondeur comprise entre 10 et 15 cm. Pour cela on utilise le pulvériseur (cover-crop) ou cultivateur à dents (pour les sols secs et sols peu profonds) afin de limiter l'émission excessif du sol et l'érosion. Le recroisement avec un tracteur de 65cv et cover-crop nécessite en temps 180mn/ha (Anonyme, ITGC, 2003). Cette même étude propose un graphique sectoriel où le pseudo-labour représente 27% de la répartition temporelle de l'itinéraire technique pour la mise en place de la culture du blé. Un pulvériseur léger consomme 4 L/ha de fuel d'après une étude du CNEEMA, 1979.

4.5. Les travaux superficiels (Façons superficielles)

Une herse, à cages roulantes ou à lames, permet un affinement et un nivellement adéquat du lit de semences. Un hersage lourd consomme environ 6 l/ha et le hersage léger consomme 4 l/ha. Un roulage avec un rouleau lisse consomme 5 l/ha et avec un rouleau Croskill consomme 6 l/ha. Un pulvériseur léger consomme 4 l/ha d'après l'étude du CNEEMA, 1979.

D'après Kessira, M, 1988, le temps nécessaire pour un roulage est d'environ 24 mn avec un tracteur de 48cv et un rouleau Croskill de largeur de travail de 2.m.

4.6. Le semis

Cette opération est généralement effectuée de la mi-novembre à la mi-décembre. La densité de semis du blé tendre est comprise en moyenne et suivant les zones, entre 200 et 350 grains/m². Nous nous intéressons au semoir mécanique préalablement réglé.

La profondeur de semis est de 2 à 4 cm, en condition optimales d'humidité et 6 cm en conditions sèches. » La consommation en combustible pour cette opération n'est pas très importante car les semoirs sont pratiquement tous munis de roues et ne nécessitent donc pas d'effort de traction important, les travaux ont donc portés sur le temps de réalisation de cette opération.

En effet selon ITGC, 2003, avec un tracteur de 65cv, un semoir de largeur de travail de 2,6 mètres nécessitera entre 60 mn / ha et 90 mn / ha. Selon Kessira. M, 1988, le semis réalisé avec un tracteur de 48cv et un semoir à 6 éléments demandera un temps de 1h 27mn.

La consommation de carburant pour les semis est fonction du type de tracteur utilisé et surtout de la largeur de travail du semoir.

4.7. La fertilisation, le traitement, le transport et la manutention

Toutes ces opérations nécessitent un tracteur dont la puissance est généralement comprise entre 40 et 70cv. Le temps nécessaire pour effectuer chacune de ces opérations est compris entre 30mn et 1h 50mn/ha. Cela est très variable, selon la puissance disponible dans l'exploitation. Les opérations et le matériel préconisé sont les suivants : Epanchage d'engrais de fond avec un épandeur et un tracteur de 65cv. Epanchage d'engrais d'entretien avec un épandeur et un tracteur de 65cv.

Souvent pour les opérations de traitement des cultures, un tracteur de petite ou de moyenne puissance 40 à 70cv suffit amplement pour cette tâche. Le plus grand nombre de ce type d'outils sont portés. La consommation du carburant par le tracteur reste à définir ainsi que le temps nécessaire a effectué lors de cette opération.

Le transport des engrais de fonds, de la semence, l'engrais d'entretien et de la récolte avec un tracteur de même puissance 45cv alors que le transport de la paille a besoin d'un tracteur de 54cv.

Les travaux de manutention nécessitent aussi un besoin énergétique qui est souvent fonction de la taille de l'exploitation et de la distance de conservation ou de transformation des produits agricoles.

4.8. La récolte

D'après (ITGC, 2003) une moissonneuse batteuse est utilisée pour la récolte du blé et l'intervention de celle-ci est estimée à 1h/ha. La consommation en carburant dépend de la consommation horaire du moteur installé sur la moissonneuse batteuse qui est logiquement augmenté par l'état ou niveau d'entretien de celle-ci et les conditions de travaux. La consommation en carburant de la moissonneuse batteuse ne doit pas être loin de la consommation préconisée par le constructeur.

Le graphique sectoriel ci-dessous, nous offre une répartition de la consommation en énergie pour la culture de blé. Donc le labour et le pseudo labour nécessitent plus d'énergie et donc plus de temps par rapport aux autres opérations.

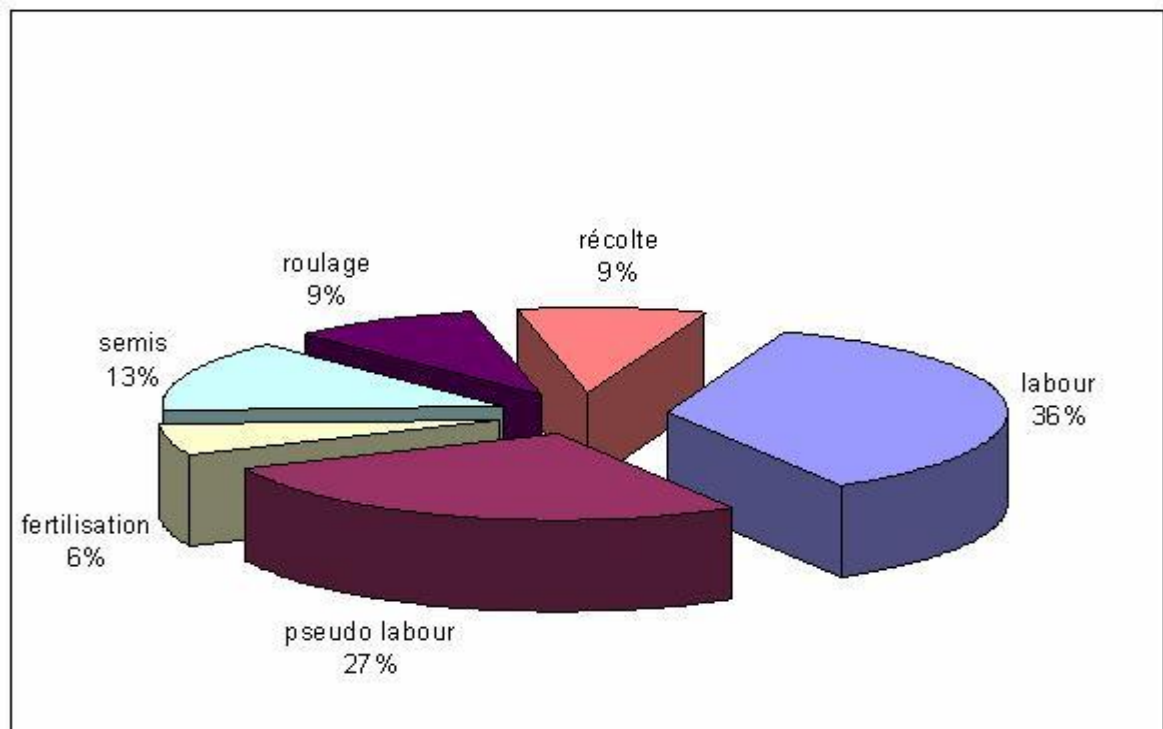


Figure 4 : Répartition de la consommation en énergie pendant l'itinéraire technique pour la mise en place d'une céréale blé.

4.9. Conclusion

A travers tous les constats cités précédemment, il en ressort que :

La consommation d'énergie et le temps de réalisation des différentes opérations culturales, pour la production d'une grande culture telle que les céréales, dépendent de plusieurs facteurs (paramètres). Nous citerons particulièrement ceux en relation avec les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, les caractéristiques géométriques des outils aratoires des machines agricoles et les conditions de travail.

Il est utile de rappeler que la première étape de l'itinéraire technique, pour la production d'une grande culture, à savoir la préparation du sol et notamment les labours, est celle qui consomme le plus d'énergie et nécessite donc le plus de temps.

Tenant compte de l'importance des besoins en énergie consommée pour la préparation du sol des grandes cultures, il sera indispensable de présenter les principales méthodes de détermination de la consommation en énergie.

II^{ème} partie : Méthodes d'évaluation de la consommation en énergie

Introduction

Les méthodes utilisées pour la détermination des besoins en énergie pour les différentes opérations culturales sont relativement nombreuses, elles dépendent principalement de la précision recherchée et du domaine d'utilisation des valeurs obtenues. Lorsque les valeurs obtenues sont utilisées dans un objectif comptable, la précision n'est pas exigée car la consommation d'énergie dépend de plusieurs facteurs. Si par contre ces valeurs sont utilisées à des fins de modélisation et de conception des machines agricoles en générale et de formes des surfaces actives des pièces travaillantes des outils aratoires en particulier, la précision est exigée.

Dans cet objectif, cette deuxième partie du document portera sur les différentes méthodes de calcul de la consommation d'énergie dans un itinéraire technique agricole ainsi que les différentes composantes de chacune des méthodes utilisées dans notre programme informatique pour générer une base de données relative à l'évaluation des besoins en énergie.

Une fois que l'importance de l'évaluation de l'énergie consommée pour la mise en place d'une grande culture (blé) est mise en évidence nous essaierons de recenser toutes les composantes de la consommation d'énergie ; celles liées aux conditions de sol (humidité, cohésion, texture ...), celles liées à l'état du matériel (état des machines, usure, rendement du moteur, ...) et celles liées aux types de machines et leurs caractéristiques géométriques. En plus des composantes des méthodes de calcul, un intérêt sera porté aussi sur les critères suivants l'exhaustivité, la précision, la fiabilité ainsi que la faisabilité.

Chapitre 5 : Méthode classique (réservoir plein)

Elle est définie par la quantité de carburant consommée au cours d'une opération par la méthode du réservoir plein. Cette méthode est illustrée par la consommation horaire donnée par la relation :

Équation (1) Consommation horaire (réservoir plein)

$$Gh = g_s \times Pt \text{ (Kg / h)}$$

Puissance de traction Pt (cv)

Consommation spécifique g_s (Kg/cv.h)

Cette méthode d'évaluation est étroitement liée à l'état du tracteur, pour un tracteur en bon état la consommation est plus faible pour la même opération si celle-ci est réalisée avec un tracteur en mauvais état. La consommation du tracteur, donnée par le constructeur peut être augmentée dans des conditions particulières qui sont respectivement :

La première étant l'état du tracteur sachant que la consommation horaire d'un tracteur est fonction de la consommation spécifique. La consommation spécifique d'un moteur usée est augmentée ce qui entraîne une augmentation de la consommation horaire.

La seconde condition qui augmente la consommation horaire du tracteur « consommation d'énergie » c'est l'usure des pièces travaillantes des machines agricoles. Généralement les pièces travaillantes des machines-outils sont affûtées pour cisailer le sol, ces pièces possèdent un angle appelé angle d'affûtage ainsi que d'autres qui permettent à l'outil de pénétrer dans le sol pour le travail qui lui est assigné.

Après un certain nombre d'heures de travail, l'outil est usé, cette usure affecte directement l'angle d'affûtage des pièces travaillantes, ce qui va transformer la partie affûtée en une surface courbe ; au lieu d'avoir un cisaillement la pièce travaillante va exercer une pression sur le sol, de ce fait la résistance à l'avancement de l'outil augmente considérablement, ce qui provoque une augmentation de la consommation horaire du tracteur.

La troisième condition qui augmente la consommation horaire d'un tracteur agricole est : l'environnement de la réalisation des différentes opérations. Travailler dans des conditions dures où le sol est compact, accidenté, lourd ou toutes autres conditions qui augmentent la résistance qu'oppose le sol à l'avancement d'un outil entraîne une consommation plus importante. D'autres conditions peuvent aussi augmenter la consommation horaire d'un tracteur dans un travail donné par exemple un manque de technicité du conducteur, ces conditions sont négligées et nous supposons toujours que le conducteur est qualifié pour garder le même exemple.

5.1. Estimation prévisionnelle de la consommation du carburant

L'estimation la plus difficile d'après (Amar. M, 1994) est celle qui concerne les dépenses prévisionnelles du carburant pour les tracteurs et les machines automotrices, car ce type de matériel est assez polyvalent. Plusieurs éléments ou facteurs souvent maîtrisables sont à prendre en considération lors des estimations des besoins en énergie.

La consommation du carburant des tracteurs lors des travaux agricoles est affectée par :

- Les caractéristiques du moteur.
- Certaines caractéristiques du tracteur lui-même comme la répartition des masses, le rendement de la transmission, la dimension des pneus, la pression de gonflage des pneus
- Le choix de combinaison des vitesses, choix du tracteur et de la machine en fonction de leurs caractéristiques réciproques
- La nature des travaux à exécuter.
- Et les caractéristiques du sol

Il existe un effet certain de ces paramètres sur le glissement des roues, la consommation de carburant et les performances des tracteurs sur le terrain de différents. (Damanauskas and Janulevičius, 2015).

Il s'avère d'après Diserens E and Battiato A, 2013 que le compactage du sol est un dommage insidieux, souvent persistant qui se manifeste lors de conditions météorologiques extrêmes (pluies durables, sécheresse, froid persistant). Intéressé

essentiellement par les machines agricoles et les tracteurs dans les performances ont largement augmenté, de même que leurs poids. Les charges à la roue vont jusqu'à près de 5 tonnes pour les tracteurs et 11 tonnes pour les moissonneuses-batteuses intégrales de betteraves sucrières, les sols sont soumis à des charges considérables.

Le problème **du patinage** n'est pas limité à celui du compactage, mais s'étend à celui du cisaillement et de la déformation du sol lors des travaux de traction. Les cisaillements et les compactages limitent l'infiltration de l'eau, renforçant ainsi la fréquence et la gravité des inondations et de l'érosion (Diserens E and Battiato A, 2013)

Par exemple, la charge verticale de la roue et la pression de gonflage des pneus sur le sol sont deux paramètres qui jouent un rôle important dans les opérations de travail du sol pour limiter le glissement et qui implique une perte d'énergie faciles à maîtriser.

Dans une large mesure, ces paramètres affectent la consommation de carburant et le temps requis pour la réalisation des opérations de travail du sol.

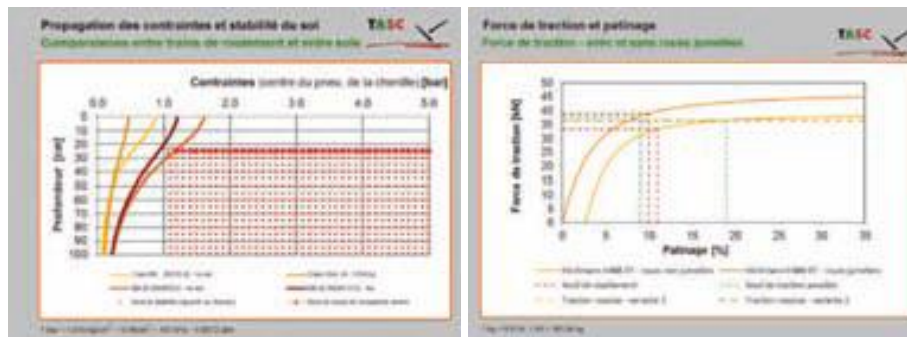


Figure 5 : TASC V3.0 calcule les contraintes et les courbes de traction-patinage avec mention du seuil de cisaillement. (Diserens E and Battiato A, 2013)

TASC qui est une application Excel développé en 2013 signifiant Tyres/Tracks And Soil Compaction. Cette application fourni des informations permettent d'évaluer la vulnérabilité du sol et dans une certaine mesure l'économie du carburant. Les seules images valables que nous avons pu obtenir de l'application sont de mauvaise qualités mais néant moins il nous informe sur la manière dont les données sont représentés.

5.2. Méthode d'estimation de la consommation a la prise de force

Les mesures effectuées à la prise de force par Amar. M, 1994 sont exprimées de deux façons : en consommation horaire (L/h) et en consommation spécifique, en grammes consommés en une heure pour chaque kW de puissance demandée au tracteur (g/kW h). Il faut retenir qu'un kW = 1,36 cv et qu'un litre de fuel pèse 830g.

Aussi selon Amar. M, 1994 la consommation spécifique rapportée à la prise de force est un peu plus élevée que celle obtenue directement à la sortie du moteur, en raison de la légère perte de puissance dans les transmissions (3 à 5%).

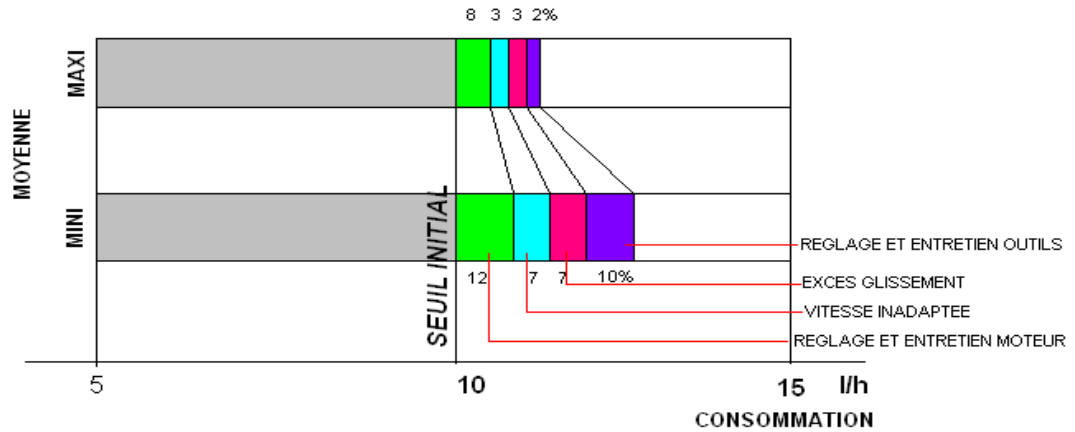
5.3. Origines principales des excès de la consommation du carburant

Lorsque le moteur du tracteur conserve des niveaux de consommation assez voisines de ceux d'origine, donc utilisé dans de bonnes conditions de réglages et d'entretien, il est nécessaire de réduire tous les excès de consommation inutiles qui peuvent apparaître à trois niveaux d'utilisation de la puissance du moteur (Amar. M, 1994)

- Outils ou machines attelés, tractés ou entraînés par la prise de force.
- Contact des roues avec le sol (patinage) lorsque le patinage passe de 10 à 25%, cela signifie qu'en développant la même puissance, le tracteur exécute $(90-75)/90=17\%$ de travail en moins, tout en consommant autant de carburant.
- Le transfert de vitesse par la transmission entre le moteur et les roues.

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence la fluctuation de la consommation en énergie dans les différentes conditions de travail du sol. On peut remarquer que la consommation augmente avec l'augmentation de la profondeur de travail ainsi que celle de la largeur de travail, séparément ou conjointement. La consommation est aussi fonction de la texture du sol, elle augmente respectivement quand le travail est réalisé sur un sol plus léger à un sol plus lourd. La variation de la consommation est aussi due aux caractéristiques des outils ainsi qu'aux conditions de travail.

Ci-dessous une représentation graphique qui met en évidence les origines principales des excès de consommation en carburant.



ORIGINES PRINCIPALES DES EXCES DE CONSOMMATION.

Figure 6 : Origines principales des excès de consommation. SOURCE : (CNEEMA, 1979)

Dans cette représentation, qui montre les principales origines des excès de consommation on peut remarquer que :

- 1- le réglage et entretien de moteur augmente la consommation du carburant entre 8 et 12%
- 2- une vitesse inadaptée augmente la consommation du carburant entre 3 et 7%
- 3- un excès de glissement augmente la consommation du carburant entre 3 et 7%
- 4- le réglage et l'entretien des outils augmente la consommation du carburant entre 2 et 10%

Ces intervalles de variation de la consommation du carburant suivant les conditions seront retenues pour le programme informatique pour l'évaluation de l'énergie consommée dans un itinéraire technique donné avec la méthode du réservoir plein (consommation horaire).

Tableau 7 : Economies de carburant possibles en fonction du gonflage des pneumatiques

Economies de carburant possibles								
Vitesse	Pression gonflage	Patinage-traction au seuil de rupture		Patinage et traction requise		Consommation horaire/surface		Economie carburant
4,5 km/h	1,6 bar	11%	25,5kN	19 %	27,6 kN	15,6 l/h	13,9 l/ha	0
	0,6 bar	9%	28,7kN	7 %	27,6 kN	13,0 l/h	11,6 l/ha	17%
2,5 km/h	1,6 bar	11%	25,5kN	10 %	24,9 kN	7,1 l/h	11,4 l/ha	18%
	0,6 bar	9%	28,7kN	5 %	4,9 kN	6,4 l/h	10,2 l/ha	27%

Tracteur 65 kW, 380/85R24 / 420/85R38 av/ar, empattement 234 cm, hauteur d'attelage 54 cm, sous-soleuse à cinq dents étroites, largeur 2,5 m, profondeur de travail 30 cm – sol silteux, mi-dur. Seuil de rupture, traction requise, consommation et économies de carburant simulés avec TASC

Sources : Diserens E, 2014.

Les travaux sur la Consommation de carburant (diesel) effectué par Diserens E, 2014, pour calculer la force de traction nécessaire, l'auteur s'est basé sur les dimensions et réglages de l'outil, texture du sol et vitesse qui sont des paramètres requis.

L'énergie déployée à la roue est liée au couple de la roue, à son taux de patinage et à la vitesse réelle. Avec un taux d'efficacité de la transmission adopté de 0,85 ; l'énergie totale déployée par les roues motrices est alors multipliée par 1,18 pour obtenir l'énergie développée par le moteur.

En multipliant la puissance du moteur par la consommation spécifique de carburant, on obtient la consommation horaire. Pour une force de traction donnée, le taux de patinage diminue lorsque la pression de gonflage diminue. La force de traction requise pour tirer une sous-soleuse à cinq dents étroites travaillant le sol dans les trente premiers centimètres pour un silt est de 27,6 kN à 4,5 km/h et de 24,9 kN à 2,5 km/h. A 4,5 km/h, des mesures de précaution sont nécessaires puisque la traction requise est supérieure au seuil de rupture calculé (25,7 kN).

Sans devoir modifier ni la qualité du travail ni la vitesse, la solution la plus simple est de diminuer la pression des pneumatiques à une valeur limite admise.

Diserens E, 2014 est arrivé comme ces prédécesseurs à la conclusion suivante : la consommation à l'hectare diminue aussi avec la réduction de la vitesse. Une économie de carburant s'élevant jusqu'à 17% est observée à 4,5 km/h lorsque la

pression interne des pneumatiques est ajustée catégoriquement à la baisse, et à 27% lorsque la vitesse en plus chute de 4,5 à 2,5 km/h (**voir le tableau 7**).

Chapitre 6 : Méthode de la capacité de travail (W)

Cette méthode consiste à définir la consommation d'énergie par le temps de réalisation d'une opération donnée pour une unité de surface (ha/h). C'est ce qui est appelée : la capacité de travail qui est calculée à l'aide de la relation suivante

Équation (2) Capacité de Travail W

$$W = 0,36 \times B \times v \times T$$

Avec : B : largeur de travail de l'outil (mètre)

 T : temps de réalisation de l'opération (heure)

 v : vitesse en (km / h)

Cette relation est valable pour toutes les opérations culturales et ne tient pas compte de l'état du sol ou de la forme des outils, elle permet cependant d'avoir une idée relativement précise sur la productivité de travail. Cette relation est intéressante car elle permet une évaluation de la consommation en énergie en relation avec la largeur de travail qui est un paramètre très important dans le domaine de l'optimisation de l'utilisation des machines agricoles et de celle du tracteur utilisé.

Amara, 2007, explique qu'une fois la quantité de carburant déterminée et connaissant son pouvoir calorifique (104 calories / gramme de gasoil), il est possible d'estimer la quantité d'énergie consommée en Joules par une simple conversion en utilisant les relations élémentaires :

$$1 \text{ Watt (W)} = 0,239 \text{ cal / s} \quad 1 \text{ Calorie (cal)} = 4,18 \text{ Joules}$$

Équation (3) La Puissance

$$P(W) = Ft(N) \times v(m/s)$$

Avec :

P : Puissance (W) ; Ft : Force (N) ; v : Vitesse (m/s)

Chapitre 7 : Méthode utilisant l'effort de résistance à la traction F_t

Cette méthode concerne l'évaluation des besoins en énergie par l'intermédiaire d'un paramètre intéressant qui est l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement de l'outil. Cet effort sera noté F_t .

La détermination de l'effort de résistance à la traction lors des opérations de préparation du sol est nécessaire pour plusieurs raisons. Ce paramètre est un bon indicateur pour l'évaluation des besoins énergétiques. Il nous renseigne en effet sur l'influence de l'état du sol, de celle de la forme géométrique des outils et sur les différents indices énergétiques. Cette méthode a aussi un avantage pour les concepteurs de machines agricoles car elle permet également de déterminer les besoins en énergie au niveau de la pièce travaillante de l'outil lui-même.

La détermination de l'effort de résistance à la traction peut informer aussi sur l'intensité du système de forces qui agit sur le sol et de prévoir ainsi l'état de déformation du sol après passage de l'outil. Ceci doit évidemment introduire les principes de la mécanique du sol.

7.1. L'effort de résistance à la traction

Les modèles mathématiques utilisés pour la détermination de l'effort de résistance à la traction sont généralement obtenus par modélisation mathématique ou évalué de manière empirique à partir de plusieurs essais sur terrain.

7.1.1. Analyse de l'effort de résistance à la traction

Lors de son travail l'outil est soumis à l'action de plusieurs forces élémentaires qui agissent sur, l'arrête tranchante du soc et sur le versoir pour la charrue à soc alors que ses forces agissent sur le soc et la dent pour les outils à dents.

Les forces appliquées sur l'outil sont classées en trois catégories :

1. Forces appliquées sur les pièces travaillantes (soc et versoir)
2. Forces appliquées par le tracteur sur l'outil

3. Forces appliquées sur les pièces auxiliaires (contre sep, talon et roue de jauge)

L'analyse portera seulement sur les forces appliquées au niveau des pièces travaillantes.

De façon générale, l'effort de résistance à la traction F_t est défini comme suit :

$$F_t = Ft' \times B$$

Avec : Ft' : l'effort de résistance à la traction par unité de largeur de travail (daN/m)

B : largeur de travail (m)

Il est à noter que le sol exerce des efforts sous forme de pression sur l'outil. Les expériences de Godwin R.J and Spoor. G, (1977) ont mis en évidence l'effort horizontal noté H_t est l'effort vertical noté V_t agissant sur l'outil.

Ces auteurs ont permis de mettre en évidence les notions de forces verticales et horizontales

7.1.1.1. Théorie des composantes de l'effort de résistance à la traction pour la charrue à socs

Rapporté à un repère fixe (O, X, Y, Z), la force résultante de résistance à la traction se décompose en forces élémentaires proportionnelles entre elles, reliées par des relations mathématiques.

La résultante est décomposée en forces latérales, horizontales et verticales qui sont principalement engendrées par la forme des pièces travaillantes des outils.

A – Forces horizontales :

- La résistance du sol au cisaillement engendrée par le soc et le coutre quand celui-ci n'est pas enlevé.
- La friction entre la semelle de labour et l'écrasement de la bande de terre.
- La friction due au poids de la charrue, selon le réglage des angles du soc.
- La friction due à la sollicitation de la bande de terre par le versoir.

La force horizontale a été définie par (Mesri, D, 1982) comme étant elle-même une résultante de plusieurs forces horizontales illustrées par la relation :

Équation (4) Forces horizontales

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7$$

Avec :

F₁ : Composante horizontale de la résistance au découpage vertical de la bande de terre, ce découpage est assuré généralement par le coutre. Sa valeur dépend de la forme du coutre et de son affûtage. Evidemment si le coutre existe.

F₂ : Composante horizontale de la résistance au découpage horizontal de la bande de terre, résistance du sol au niveau du soc. Son intensité est fonction de l'état d'usure de la partie affûtée du soc et de l'angle d'attaque α .

F₃ : Composante horizontale de la résistance au soulèvement et à la mise en mouvement de la bande de terre. La valeur de cette composante dépend de la forme du versoir ou de la variation de l'angle de courbure ou d'inclinaison du versoir à savoir l'angle β .

F₄ : Composante horizontale de la résistance à la déformation de la bande de terre, cette composante est fonction de l'état du sol au moment du labour (humidité, texture et structure).

F₅ : Composante horizontale de la résultante des forces de frottement entre la surface active du corps de charrue principalement du versoir et de la bande de terre en mouvement.

F₆ : Composante horizontale de la force de frottement entre le talon de la charrue et le sillon- muraille, et la résistance au roulement de la roue de jauge si celle-ci existe.

F₇ : Composante horizontale supplémentaire due à un mauvais réglage de la charrue.

Cette relation met en évidence l'importance de l'état d'usure de l'outil aratoire ainsi que de ses caractéristiques géométriques sur l'effort de résistance à la traction. Mais ces différentes composantes sont calculées indépendamment les unes des autres, ce qui n'est pas pratique, car cela impose des moyens spécifiques. L'évaluation de la résultante n'est donc pas directe.

En supposant que les réglages sont corrects, et qu'actuellement les charrues sont généralement portées, la résultante horizontale sera donnée par la relation :

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

Rappelons que cette force est uniquement la composante horizontale de la force totale de résistance à la traction dont les deux autres composantes sont respectivement :

- La force latérale horizontale
- La composante verticale

B – Forces verticales :

- Le poids de la charrue.
- La pression créée pendant le soulèvement du sol par le soc.

Avec les systèmes de liaison trois points de l'outil aratoire avec le tracteur, comme le relevage hydraulique dont sont équipés la majorité des tracteurs, et les asservissements tels que la position du contrôle d'effort et de position, les composantes verticales sont souvent très faibles et ne sont donc pas prises en compte par les chercheurs. Tenant compte de l'effort important exigé par la charrue à socs cette composante verticale serait parfois prise en considération.

C – Forces latérales :

Ces forces sont dues :

- A la poussée latérale du sol sur la surface active du corps de charrue à socs.
- Aux frottements du sol sur le versoir.
- A l'enfoncement et au cisaillement du sol par le soc.

Les forces latérales sont généralement dépendantes de la forme des surfaces actives des outils aratoires notamment pour les charrues à socs et les charrues à disques. Pour ce qui est des outils simples comme les cultivateurs, les forces latérales sont négligées.

Plusieurs chercheurs ont essayé d'aborder cela en proposant des modèles mathématiques pour chacune de ces composantes.

7.1.1.2. Evaluation de la résultante de l'effort

Dans le repère (o, x, y, z) orthogonal, la force Ft se décompose en forces élémentaires reliées par la relation suivante : (Sandru, A., 1975).

Équation (5) Résultante de l'Effort

$$F_t = F_{xy} + F_{zy} + F_{xz}$$

- 1- $F_{xy} = F_x + F_y$: Faisant un angle $\varphi = 15^\circ$ à 25° avec la direction de l'avancement et coupant l'arrête du soc à une distance $L = 0,4 \times b$. A partir de la pointe du soc.

$$F_x = k \times a \times b$$

$$F_y = F_x \times \text{tg } \varphi = \frac{1}{3} F_x$$

k : coefficient de déformation du sol

a : profondeur de travail

b : largeur de travail

- 2- $F_{xz} = F_x + F_z$: fait un angle $\psi = \pm 12^\circ$ avec l'axe ox.

La valeur négative de ψ correspondant au soc usé.

$$F_z = F_x \times \text{tg } \rho = \pm 0,2 \times F_x$$

Le support de Fyz fait un angle ρ avec l'axe oy $\text{tg } \rho = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \psi}$

Des formules empiriques font intervenir de nombreux paramètres et coefficients difficilement appréciables, et ne sont réellement applicables que pour des types de sols bien marqués.

7.2. Analyse des modèles mathématiques de l'effort de résistance à la traction

Plusieurs chercheurs ont abordé le problème d'évaluation de la valeur de la force de résistance à la traction.

Par conséquent, plusieurs modèles mathématiques ont été proposés, mettant en relation l'interaction de l'outil aratoire avec le sol pour prévoir leurs performances. Ces modèles sont de deux types :

- Les premiers pour les outils à surface complexe telles que la charrue à soc
- Les seconds pour les outils à surface simples tels que les outils à dents

7.2.1. Présentation des principaux modèles de Ft

Modèle de Gorjatschkin. VP and Sohene, (1960)

Équation (6) : Gorjachkin

$$F_t = [f \times G] + [K \times a \times b \times n] + [\varepsilon \times a \times b \times v^2]$$

Ft : Effort de résistance à la traction (N)

G : Poids de la charrue (N)

b : Largeur de travail (m)

a : Profondeur de travail (m)

v : Vitesse de travail (m/s)

f : Coefficient de résistance au roulement ($0,29 < f < 0,50$)

ε : Coefficient de forme du versoir ($30\ 000 < \varepsilon < 100\ 000\ \text{kg.s}^2 / \text{m}^4$)

K : Coefficient de résistance à la déformation de la bande terre avec :

$$K < 20\ 000\ (\text{N/m}^2) \Rightarrow \text{Sols légers}$$

$$20\ 000 < K < 60\ 000\ (\text{N/m}^2) \Rightarrow \text{Sols moyens}$$

$$60\ 000 < K < 100\ 000\ (\text{N/m}^2) \Rightarrow \text{Sols lourds.}$$

Les valeurs de f, K, ε sont difficiles à choisir, ce qui rend le calcul de l'effort très délicat, (Binesse, 1970a) **in** (Bouzit. G, 1995) notamment la valeur du coefficient de forme ε

Ce modèle prend en considération le sol, l'outil et les conditions de travail. Plusieurs travaux de recherche utilisent cette relation mais celle-ci est simplifiée, d'une part les charrues à socs actuelles sont portées et la difficulté de donner une valeur au coefficient de forme ε . l'équation simplifiée utilisée est :

$$F_t = K \times a \times b \times n$$

Avec : n le nombre de corps de charrue.

Si cette relation reste valable sur une faible surface, elle est cependant peu précise quand il s'agit de déterminer les besoins en énergie pour une grande superficie. Outre ceci la vitesse de travail n'est pas prise en considération, elle est considérée comme constante et comprise entre 1 et 1.5 m/s.

Modèle de (Larson, L. W. et al, 1968)

C'est un modèle complexe dans lequel les auteurs ont introduit les propriétés mécaniques du sol. Le paramètre forme n'est pas pris en compte.

Équation (7) : Larson et Al

$$R = \gamma \times b^3 \times \left[0,42 + 1,53.tg\phi \cdot \left\{ 0,23 \cdot \left(\frac{C}{\gamma.a} \right)^{1,50} \right\} + 0,42 + 1,53.tg\phi \cdot \left\{ 0,035 \cdot \left(\frac{C}{\gamma.a} \right)^{1,37} \right\} \cdot \frac{v^2}{g.b} \right]$$

R : Effort résistant de la charrue (KN)

b : Largeur de travail (m)

a : Profondeur de travail (m)

γ : Masse volumique du sol (KN/m³)

C : Cohésion du sol (Kg/dm²)

Φ : Angle de frottement interne du sol (°)

v : Vitesse de travail (m/s)

g : Constante de gravité (m/s²)

Modèle de (Binesse, 1970b)

Ce modèle est le résultat d'une simplification du modèle (Larson, L. W. et al, 1968) par Binesse

Équation (8) : Binesse

$$Fch = S \times \left[\left(\frac{c}{\cos \Phi} \right) \times (0,85 + \sin \Phi) \right]$$

Fch : Résistance par unité de surface (daN)

S : Section du sol travaillé (dm²)

C : Cohésion du sol (daN/dm²)

Φ: Angle de frottement interne du sol (°)

Ce modèle prend compte des caractéristiques du sol, de la largeur et de la profondeur de travail, mais fait abstraction des caractéristiques géométriques de l’outil. Ce modèle est applicable pour les outils simples mais ne serait pas applicable aux charrues à socs car deux charrues peuvent avoir la même largeur de travail et la même profondeur mais pas la même forme des surfaces actives ; ce qui donnerait le même effort de résistance à la traction de deux formes totalement différentes ; la précision ne serait donc pas obtenue.

Modèle de Oskoui K.E. et al, (1982)

Ces chercheurs ont établi une relation semi empirique entre la résistance unitaire (G), la vitesse de travail (v) et le cône index du sol (CI).

Équation (9) : Oskoui

$$G = [K_1 \times CI] + \left[K_2 \times \partial \times (1 - \cos \Phi) \frac{v^2}{g} \right]$$

G : Résistance spécifique de la charrue (KN/ m²)

∂ : Force volumique du sol (KN/m³)

CI : Cône index du sol (KPa)

g : Constante de gravité (m/s²)

v : Vitesse de travail (m/s)

K₁, K₂ : Constantes dépendantes des caractéristiques du sol.

Le cône index du sol est exprimé en fonction de sa teneur en eau (mc) et de sa masse volumique (ρ) :

$$CI = 450,50. mc^{-2} + 0,019. \rho \quad mc = \text{exprimé en \%}$$

Dans cette formule, la profondeur et la largeur de travail ne sont pas prises en considération.

Modèle de (Gee Clough, D.G. et al, 1978)

Modèle semi empirique établi à partir d'essais réalisés sur 14 parcelles. Un modèle des plus utilisé par les chercheurs et pratiquement l'un des plus simples.

Équation (10) : Gee Clough

$$R = a \times b \times \left[(13,30 \times \gamma \times a) + \left(3,06 \times \gamma \times \frac{v^2}{g} \right) \right]$$

R : Effort résistant (KN)

a : Profondeur de travail (m)

b : Largeur de travail (m)

γ : Force volumique du sol (KN/m³)

v : Vitesse de travail (m/s)

g : Constante de gravité (m/s²)

Modèle de (Gao Qiong et al., 1986)

Modèle semi empirique **Équation (11) : Qiong et Al**

$$R = \gamma \times a (b_1 \times b_2 \times v^2)$$

R : Effort résistant de la charrue (KN)

γ : Force volumique du sol (KN/m³)

a : Profondeur de travail (m)

v : Vitesse de travail (m/s)

b_1 : 1,5 m/s²

b_2 : 0,228 m

Ces trois derniers modèles semblent plus intéressants, car ils mettent en évidence les paramètres les plus importants.

Modèle de (Boubric, 2000)

Modèle obtenu à partir d'analyse dimensionnel et du théorème Buckingham Vacshy

Équation (12) : Boubric

$$\frac{R}{d \cdot l^3} = e^{-5,7320} \times \left(\frac{c}{d \cdot l} \right)^{1,0795} \times \left(\frac{P}{l} \right)^{1,8595} \times (\alpha)^{1,3880}$$

$$\frac{R}{d \cdot l^3} = e^{-9,3806} \times \left(\frac{CI}{d \cdot l} \right)^{1,0019} \times \left(\frac{P}{l} \right)^{1,8595} \times (\alpha)^{1,3929}$$

D'après l'auteur, ces deux équations permettent de prédire la résistance à la traction qui s'applique sur une dent de travail du sol avec une erreur relative moyenne de 10,55% pour la première équation et de 9,62% pour la seconde, ce qui est pour l'auteur très satisfaisant.

Modèle (Amara, 2007)

Deux modèles sont proposés par l'auteur, un pour les surfaces actives complexes dites gauches et le deuxième pour les surfaces actives dites simples comme les socs des outils à dents.

Ces modèles mathématiques de l'effort de résistance à la traction ont été établis avec les caractéristiques géométriques de ces surfaces.

Pour les charrues à socs le modèle mathématique établi par la méthode de modélisation utilisant les principes de l'analyse dimensionnelle est le suivant :

$$F_t = \mu.R_0.e^{-14,54} \left(\frac{v^2}{g.l.\sin(\gamma)} \right)^{0,15} .E^{4,13} .\alpha^{5,94} .\theta^{-16,01} .k^{0,98} .(k_1)^{12,98} .(k_2)^{2,74} .g.d.(l.\sin(\gamma))^3$$

Comme l'angle d'attaque γ est pratiquement maintenu constant au niveau des pièces travaillantes, le modèle est simplifié et s'écrit sous la forme :

Équation (13) : Amara

$$F_t = \mu.R_0.e^{-14,54} \left(\frac{v^2}{g.b} \right)^{0,15} .E^{4,13} .\alpha^{5,94} .\theta^{-16,01} .k^{0,98} .(k_1)^{12,98} .(k_2)^{2,74} .g.d.b^3$$

Avec : $\mu = 1000$ pour les formes Cylindriques

$\mu = 10$ pour les formes mixtes

v : vitesse en m/s

α et θ : Angles en radians

d_a : densité apparente en kg/m^3

b : largeur de travail en m

k, k_1, k_2 : Caractéristique de forme sans unité.

Pour les outils à dents le modèle mathématique établi par l'auteur est le suivant :

$$F_t = N \times Cr \times e^{3,83} \times \left(\frac{v^2}{g \times b} \right)^{-0,06} \times \left(\frac{Sc}{Sp} \right)^{2,96} \times (\alpha)^{4,11} \times (\beta)^{0,84} \times (\theta)^{-0,62} \times d \times b^3 \times g$$

Avec :

F_t : Force de résistance à la traction (daN)

v : vitesse (m/s)

Sc/Sp : Rapport des surfaces

α : Angle d'entrure

β : Angle d'incurvation

θ : Angle de pointe

d : densité (daN/m³)

b : largeur de travail du soc (m)

g : Accélération terrestre (m/s²)

Cr : Coefficient de correction

N : nombre de dent du cultivateur

Tenant compte de ces nombreux modèles proposés, il est délicat de faire un choix. Ce qui ne pourrait se faire qu'avec une maîtrise parfaite des différents paramètres contenus dans les modèles.

Pour des raisons pratiques pour ce travail, qui consiste à choisir les modèles à utiliser pour évaluer les besoins en énergie lors des opérations de travail du sol et pour l'établissement d'un programme informatique, ainsi que pour la simplicité de la détermination de certains paramètres, nous choisirons les modèles suivants :

Pour les charrues à socs

Le modèle **Gorjatschkin (1960)**

Le modèle **Gee Clough (1972)**

Le modèle **Amara (2007)**

Ces modèles sont différents les uns des autres au niveau des paramètres introduits dans les relations : Gorjatschkin utilise la résistance spécifique du sol, Gee Clough introduit la densité du sol et Amara met en évidence l'importance des caractéristiques géométriques des surfaces actives des corps de charrue à socs.

Pour les outils à dents

Le modèle de **Binesse (1970)**

Le modèle de **Boubrit (2000)**

Tableau 8 : Principaux modèles de détermination de l'effort de résistance à la traction.

Modèles	Notations
<p>GORJATCHKIN et SOEHNE (1960)</p> $Ft = [f \times G] + [K \times a \times b \times n] + [\varepsilon \times a \times b \times v^2]$	<p>f : coefficient de frottement sol-métal G : poids de la charrue k : résistance spécifique du sol a : profondeur de labour b : largeur de labour v : vitesse d'avancement ε : coefficient de forme du versoir</p>
<p>BINESSE (1970)</p> $Fch = S \times \left[\left(\frac{c}{\cos \Phi} \right) \times (0,85 + \sin \Phi) \right]$	<p>S : section de la bande de terre travaillée C : cohésion du sol Φ : angle de frottement interne du sol</p>
<p>GEE GLOUGH et al (1972)</p> $R = a \times b \times \left[(13,30 \times \gamma \times a) + \left(3,06 \times \gamma \times \frac{v^2}{g} \right) \right]$	<p>a : profondeur de labour b : largeur de labour g : accélération terrestre γ : masse volumique sèche du sol v : vitesse d'avancement</p>
<p>BOUBRIT B. (1999)</p> $\frac{R}{d \cdot l^3} = e^{-9,3806} \times \left(\frac{CI}{d \cdot l} \right)^{1,0019} \times \left(\frac{P}{l} \right)^{1,8595} \times (\alpha)^{1,3929}$	<p>α : angle d'inclinaison du soc d : densité apparente du sol l : largeur de travail p : profondeur de travail R : effort de traction CI : cône index</p>
<p>AMARA M. (2009)</p> $Ft = \mu \cdot R_0 \cdot e^{-14,54} \cdot \left(\frac{v^2}{g \cdot b} \right)^{0,15} \cdot E^{4,13} \cdot a^{5,94} \cdot \theta^{-16,01} \cdot k^{0,98} \cdot (k_1)^{12,98} \cdot (k_2)^{2,74} \cdot g \cdot d \cdot b^3$	<p>E : échelle R : coefficient de conversion d'échelle. a : profondeur de travail b : largeur de travail d : masse volumique sèche du sol k : a / b k1 : longueur maximum/hauteur k2 : largeur maximum / largeur au point d'inflexion. v : vitesse d'avancement μ : coefficient de correction α : angle d'entrure θ : angle d'inclinaison</p>

Source : (Badouna and Amara, 2015)

Nous constatons que la profondeur et la largeur de travail sont utilisées au niveau des quatre modèles ; la vitesse de travail n'est utilisée qu'au niveau des modèles de Gorjatchkin et Gee Clough et Amara ; Binesse et Boubrit ont par contre introduit dans leurs modèles des paramètres relatifs à l'état du sol, comme la cohésion du sol, le cône index et l'angle de frottement interne.

Dans leurs travaux, Amara et Feddal, 2013, ont montré que les caractéristiques géométriques ont une grande importance sur la précision de la détermination de l'effort de résistance à la traction et surtout du choix du modèle. En effet ces travaux ont montré que le modèle de Gorjachkin est plus approprié pour des corps de charrue à versoir

cylindro-hélicoïdal, alors que le modèle de Gee Clough est préférable pour les versoirs de forme cylindrique.

Le choix de l'un des modèles ci-dessus est donc complexe pour une évaluation précise de la consommation en énergie ; le choix de la puissance du tracteur se portera inévitablement sur des tracteurs de forte puissance, ce qui serait une sous-utilisation du tracteur, cela se répercutera sur un suréquipement des exploitations agricoles ainsi que sur le prix de revient de la production agricole.

En conclusion la conception d'un programme informatique pour la détermination avec précision de l'effort de résistance à la traction doit tenir compte des principaux paramètres suivants :

- la profondeur et la largeur de travail de la pièce travaillante,
- la vitesse d'avancement de l'ensemble tracteur-outil aratoire,
- les caractéristiques physico mécaniques du sol
- les caractéristiques géométriques des surfaces actives des pièces travaillantes.

Ces différents modèles sont introduits dans le programme informatique DERT, le choix de l'un d'eux dépendra des conditions de travail et de la forme des pièces travaillantes.

3.2.2 Principaux paramètres utilisés au niveau des modèles choisis

Les paramètres introduits au niveau des relations choisies et qui nous serviront pour l'établissement du programme informatique, sont respectivement :

Les longueurs et surfaces :

- La vitesse de travail v (m/s)
- L'accélération terrestre g (m/s²)
- La profondeur de travail a (m)
- La largeur de travail b (m)
- Surface de contact Sc (m²)
- Surface projetée Sp (m²)
- La section du sol travaillé S (dm²)

Les angles :

- L'angle d'entrure α (° ou rad)

- L'angle d'incurvation β ($^{\circ}$ ou rad)
- L'angle de pointe θ ($^{\circ}$ ou rad)
- L'angle de frottement interne du sol Φ ($^{\circ}$ ou rad)

Les coefficients :

- Le coefficient de forme du versoir ε ($\text{kg.s}^2 / \text{m}^4$)
- Le coefficient de résistance au roulement f
- Le coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre k (N/m^2)
- Le coefficient de correction μ

Caractéristiques Sols :

- La masse volumique du sol d_a (kg/m^3)
- La cohésion du sol C (kg/dm^2)
- La force volumique du sol δ (kN/m^3)

Chapitre 8 : Paramètres liés aux caractéristiques du sol

L'état initial du sol est l'un des principaux facteurs ayant une influence certaine sur la valeur de l'effort de résistance à la traction. En effet, le sol sous son aspect de propriété physique et mécanique tels que l'angle de frottement interne, la cohésion, la texture, la structure, la teneur en eau etc.... sont des critères très importants qui exercent une influence capitale sur les opérations de travail du sol tant sur leur aspect énergétique qu'agronomique.

8.1. Propriétés physiques du sol

Parmi les principales propriétés physiques du sol qui influent sur l'effort de résistance à la traction nous citons :

8.1.1. La texture

La texture du sol est la proportion relative des divers groupes de particules (argiles, limon et sable) C'est une fraction du sol dont le diamètre n'excède pas 2 mm. (Gaucher. G, 1968)

La texture nous renseigne sur le comportement du sol sous l'action des facteurs naturels ou mécaniques.

La prédominance d'un élément implique des inconvénients sur le plan pratique du point de vue action des outils aratoires et du point de vue développement de la plante. Pour illustrer ce qui précède, nous citerons ces exemples :

- Un sol sableux possède une capacité de rétention d'eau presque nulle et une structure très friable. Par conséquent, ce type de sol n'oppose pas une résistance importante à l'avancement des outils aratoires.
- Un sol limoneux est caractérisé par des risques de battance, d'où la nécessité de grandes précautions aux passages des outils aratoires, afin d'éviter l'émiettement, qui ne doit pas être très important.
- Un sol argileux est très sensible au tassement, notamment à une humidité élevée. De ce fait, le choix du moment d'intervention de l'outil (teneur en

eau du sol), et le nombre de passages des engins roulants sont exigés. Par ailleurs, les sols argileux sont plus exigeants en effort de traction.

Tableau 9 : Variation de l'effort de résistance à la traction suivant le type de sol pour une profondeur de travail de 20 cm et une largeur de 60 cm.

Type de sol	Sable, Sable limoneux	Sable très limoneux Limon sableux	Limon, limon argileux, Argile
Résistance totale (daN)	455	660	920

Source : (Binesse, 1970a)

A titre d'information, nous présentons ci-dessous un tableau mettant en évidence la relation entre la texture du sol et sa densité correspondante.

Tableau 10 : Classes de textures et densités correspondantes

Classe de texture	Classe de $D_{a,m}$	$D^*_{a,m}$	Teneur en eau massique $W_{log\psi}$						
			$W_{1,0}$	$W_{1,5}$	$W_{2,0}$	$W_{2,5}$	$W_{3,0}$	$W_{3,5}$	$W_{4,2}$
Argile lourde (ALO)	[1,2-1,3]	1,25	0,430	0,417	0,400	0,378	0,352	0,342	0,264
	]1,3-1,4]	1,36	0,350	0,346	0,334	0,317	0,296	0,280	0,226
	]1,4-1,5]	1,45	0,331	0,322	0,311	0,299	0,278	0,261	0,217
	]1,5-1,6]	1,54	0,259	0,255	0,250	0,241	0,225	0,209	0,185
	]1,6-1,7]	1,66	0,228	0,219	0,211	0,202	0,192	0,182	0,161
Argile (A, AL)	[1,4-1,5]	1,46	0,263	0,252	0,237	0,219	0,196	0,170	0,149
	]1,5-1,6]	1,56	0,234	0,230	0,209	0,207	0,188	0,165	0,144
	]1,6-1,7]	1,65	0,227	0,218	0,209	0,199	0,182	0,163	0,138
	]1,7-1,8]	1,74	0,199	0,198	0,188	0,175	0,170	0,163	0,137
	]1,8-1,9]	1,82	0,171	0,167	0,160	0,153	0,155	0,150	0,126
Argile sableuse (AS)	[1,5-1,7]	1,63	0,224	0,213	0,203	0,198	0,175	0,162	0,129
	]1,7-1,9]	1,77	0,185	0,182	0,171	0,161	0,152	0,136	0,120
Limon (LM, LA)	[1,4-1,5]	1,44	0,266	0,252	0,242	0,210	0,161	0,126	0,107
	]1,5-1,6]	1,56	0,238	0,227	0,220	0,195	0,163	0,126	0,105
	]1,6-1,7]	1,63	0,225	0,218	0,208	0,194	0,161	0,128	0,105
Limon sableux (LMS, LAS)	[1,5-1,6]	1,57	0,229	0,222	0,202	0,167	0,135	0,122	0,103
	]1,6-1,7]	1,64	0,215	0,209	0,197	0,176	0,143	0,110	0,087
	]1,7-1,8]	1,73	0,185	0,172	0,176	0,167	0,140	0,119	0,078
Limon très sableux (LS, LSA)	[1,5-1,7]	1,60	0,209	0,194	0,176	0,154	0,134	0,114	0,100
	]1,7-1,9]	1,79	0,176	0,169	0,160	0,150	0,140	0,117	0,089
Sable argilo-limoneux (SL, SA)	[1,6-1,75]	1,70	0,182	0,170	0,151	0,126	0,107	0,088	0,072
	]1,75-1,9]	1,82	0,173	0,162	0,143	0,123	0,101	0,086	0,065
Sable (S)	[1,6-1,7]	1,67	0,169	0,139	0,099	0,085	0,068	0,052	0,037
	]1,7-1,8]	1,75	0,135	0,118	0,076	0,061	0,043	0,038	0,033

$D_{a,m}$: classe de densité apparente de motte ; $D^*_{a,m}$: densité apparente de motte moyenne des horizons appartenant à la classe de $D_{a,m}$;
 $W_{log\psi}$: teneur en eau massique au potentiel ψ .

Source : (Bruand et al., 2002)

8.1.2. La structure

Henin S., 1976, a défini la structure comme étant un mode d'assemblage des constituants solides d'un sol dans un volume donné, qui se modifie sous l'action du climat et du travail de l'homme.

Selon **Manière G. 1980**, cité par (Nakib. H., 1986), ce mode d'assemblage conduit à la formation d'un espace porale déterminé essentiellement par les caractéristiques des particules du sol (taille, forme, nature minéralogique) et cette espace varie sous l'effet d'actions extérieures que subit le matériau (travail du sol, tassement mécanique, actions climatiques et biologiques) sa détermination nous renseigne sur le degré de compaction du sol, vu son influence sur la circulation et le stockage de l'eau.

La structure du sol est généralement quantifiée par la porosité définie comme le rapport du volume non occupé par la matière solide au volume total ; sa détermination nous renseigne sur le degré de compaction de préparation du sol, vu son influence sur la circulation et le stockage de l'eau et surtout sur les besoins en énergie pour régénérer la structure.

L'influence de la structure sur l'effort total de résistance à la traction a été mise en évidence par plusieurs auteurs. Binesse, 1970, a montré que la force de traction est deux fois plus grande pour un sol lourd que pour un sol léger.

8.1.3. La Porosité

On appelle porosité le rapport du volume non occupé par la matière solide au volume total ; sa détermination renseigne sur le degré de compaction de préparation du sol, vu son influence sur la circulation et le stockage de l'eau.

$$\text{Équation (14)} \quad P(\%) = \left(\frac{V_v}{V_t} \right) \times 100$$

Avec :

P : Porosité

- V_v : Volume du vide
 V_t : Volume total = $V_s + V_v$
 V : Volume de la terre en place
 V_s : Volume occupé par la matière solide

Où

$$\text{Équation (15)} \quad P(\%) = \left(1 - \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_r} \right) \right) \times 100$$

γ_d : Densité apparente, elle tient compte du volume du vide, selon le degré de fissuration ou de tassement.

γ_r : Densité réelle, elle est définie par les éléments constituant du sol et qui est constante.

A noter qu'au niveau des labours, ce paramètre de porosité passe de 30% avant le passage des corps de charrues à 60% après passage (Amara, 1983).

Un sol à faible porosité ou tassé se comporte d'une manière très agressive au passage de l'outil : il se fissure très brusquement et se projette en dehors du sillon en formant des grosses mottes, qui nécessite un effort de traction plus important donc une consommation d'énergie plus élevée.

Par contre, un sol poreux épouse la forme de l'outil et monte le long du versoir avant d'être pratiquement posé par le sillon précédemment exécuté.

8.1.4 La Masse volumique du sol

La **masse volumique**, aussi appelée **densité volumique de masse**, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume. (Anonyme, 2015)

Tableau 11 : Relation générale entre la texture, la masse volumique apparente et la porosité des sols d'après (Hausenbuiller, R. L., 1985).

Classe texturale	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Porosité (%)
Sable	1.55	42
Loam sableux	1.40	48
Loam	1.20	55
Loam limoneux	1.15	56
Loam argileux	1.10	59
Argile	1.05	60

Source : (Hausenbuiller, R. L., 1985) in (Derdour, 1999)

8.1.5. L'Humidité

On appelle humidité, la teneur en eau contenue dans le sol (Henin. S, 1977). L'humidité est exprimée selon trois manières.

Équation (16) : Humidité

$$H(\%) = \left(\frac{P_e}{P_e + P_s} \right) \times 100$$

Pe : Poids d'eau (g)

Ps : Poids à sec de l'échantillon (g)

H% : humidité en pour-cent exprimée en gramme d'eau pour-cent gramme de terre humide

Elle peut être exprimée par rapport au poids de terre sèche :

$$H_s = \left(\frac{P_e}{P_s} \right) \times 100$$

On peut la calculer en considérant le volume occupé par l'eau dans un volume donné de terre :

$$W_v = W_s \times \gamma_d(\%)$$

γ_d : Densité apparente.

L'humidité d'un sol influe énormément sur les propriétés mécaniques du sol.

Dans ses travaux, **Nikoforov (1974) in** (Houyou. Z, 1989) a montré que la résistance à la traction diminue presque linéairement avec l'humidité du sol jusqu'à 20%, puis elle augmente brusquement.

Ces derniers paramètres comme l'humidité et la porosité ne sont pas utilisés au niveau des relations choisies et ce malgré l'importance de leur effet sur l'effort.

8.2. Propriétés mécaniques du sol

Pendant son travail, le sol subit un certain nombre de forces de compression, de flexion, de torsion, d'écoulement, de cisaillement, accompagnées de phénomènes d'adhérence (Dalleine E, 1971). Ces forces sont classées d'après le même auteur, en fonction de leurs actions, relativement au sol et à l'outil.

Forces internes (cisaillement)

Forces externes agissant sur la surface travaillante de l'outil (frottement et adhésivité).

Le mode d'action d'un outil aratoire est fonction des propriétés physiques et mécaniques du sol qui ont une influence directe sur la valeur de l'effort de résistance à la traction.

8.2.1. La cohésion

Cette propriété mécanique est la plus utilisée par plusieurs chercheurs, elle caractérise l'état initial du sol de façon pratique par rapport à l'effort de résistance à la traction. Cette propriété est illustrée et quantifiée par la résistance pénétrométrique d'un cône d'où la notion de cône index (CI). Physiquement elle peut être définie par l'intensité des forces intérieures reliant les agrégats du sol entre eux.

L'effort de résistance à la traction nécessaire pour régénérer une structure favorable à la mise en place d'une culture est entre autres fonctions de cette intensité, l'outil par son intervention est appelé à détruire ces forces intérieures.

Tableau 12 : Résultats de la comparaison des moyennes des principaux paramètres et leurs effets sur l'indice de cône moyen

Main effects							
Soil texture type		Moisture content (%)		Tractor traffic (times)		Depth (cm)	
Sandy Loam	685.5 ^c	5-10	962.78 ^a	0	791.05 ^c	0-10	707.98 ^c
Loam	953.7 ^b	10-20	929.98 ^b	10	932.97 ^b	10-20	907.11 ^b
Loamy Sand	1106.2 ^a	20-30	852.75 ^c	20	1021.46 ^a	20-30	1130.42 ^a

Source : Yousef Abbaspour-Gilandeh et al., 2012

L'étude de Yousef Abbaspour-Gilandeh et al., 2012, présente les résultats d'une comparaison des effets de la texture du sol, la teneur en humidité, la circulation du tracteur et de la profondeur sur le Cône Index.

Les effets de la teneur en humidité sont importants sur l'indice du cône index du sol. Les résultats ont montré qu'une augmentation de la teneur en eau dans le sol réduit considérablement les valeurs de l'indice du cône index du sol.

L'indice "cône index" du sol est significativement sensible aux différents niveaux de passage du tracteur (tracteur trafic). Les résultats ont montré que l'augmentation du trafic de tracteur provoque une augmentation de manière significative des valeurs de l'indice du cône index du sol.

Une hausse dans l'indice de cône index du sol pourrait être justifiée par la hausse de la densité apparente.

Yousef Abbaspour-Gilandeh et al, 2012 propose un modèle du Cône Index obtenu par régression qui donne l'expression de ce dernier en fonction de l'humidité du sol et la densité apparente du sol, par l'équation suivante :

Équation (17) : Cône Index

$$CI = [450,5 \times H^2] + [0,019 \times \gamma_d]$$

CI : Cône Index

H : Humidité du sol

γ_d : Masse volumique apparente

Cette équation est déjà mentionnée ci-dessus dans le Modèle d'Oskoui K.E et al en 1982.

8.2.2. Cisaillement

Au XVIII^e siècle, le physicien **Charles Coulomb**, qui se distingua entre autres par ses recherches sur les phénomènes électriques et magnétiques, réalisa des études sur la stabilité des sols, pour les besoins de constructions. A l'aide d'une boîte de cisaillement (figure 5), il réalisa des expériences qui lui permirent d'évaluer la résistance au cisaillement des sols à la rupture le long d'un plan de cisaillement. Rappelons que la rupture a lieu lorsque les contraintes appliquées au sol sont supérieures à la résistance au cisaillement et qu'un glissement de sol survient dans le plan de cisaillement.

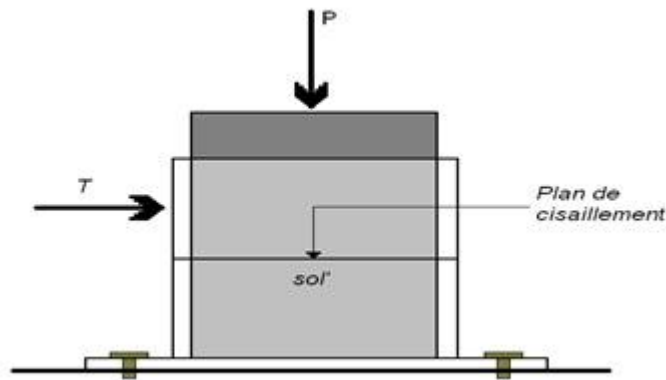


Figure 7 : Boîte de cisaillement

Le cisaillement est le glissement irréversible d'une couche de sol par rapport à une autre couche infiniment proche et nécessitant un effort tangentiel constant pour un sol donné. Si les surfaces glissantes sont unitaires, l'effort tangentiel est égal à une valeur C qui peut s'exprimer en Kg/dm^2 . C est appelée cohésion et caractéristique du sol considéré.

Si le sol est soumis en même temps à des efforts normaux, la résistance au cisaillement augmente proportionnellement à ceux-ci, le coefficient de proportionnalité est appelé $\text{tg}\Phi$; ou Φ est l'angle de frottement interne du sol (Binesse, 1970a).

Les équations de rupture

Lors de ses recherches, **Coulomb** remarqua que la résistance au cisaillement à la rupture (τ_{rupt}) était directement proportionnelle à contrainte normale (σ_{rupt}) : plus cette dernière augmentait, plus la résistance au cisaillement devenait grande. Il nota aussi que

les sols cohérents manifestaient une certaine résistance au cisaillement due à leur cohésion quand la contrainte normale était nulle. En partant de ces observations, il formula la relation suivante, connue sous le nom d'équation de Coulomb :

Équation (18) : Relation de rupture de Coulomb

$$\tau_{rupt} = c + \sigma_{n_{rupt}} \operatorname{tg} \phi$$

Où c = cohésion

Φ = angle de frottement interne

Le cisaillement est défini comme étant la relation entre les efforts normaux agissant sur la section d'un sol et la résistance au cisaillement τ de ce sol, est exprimée par la relation de Coulomb.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

σ : charge normale (daN/cm²)

c : Cohésion apparente du sol (daN/cm²)

τ : Résistance au cisaillement (daN/cm²)

Φ : Angle de frottement interne.

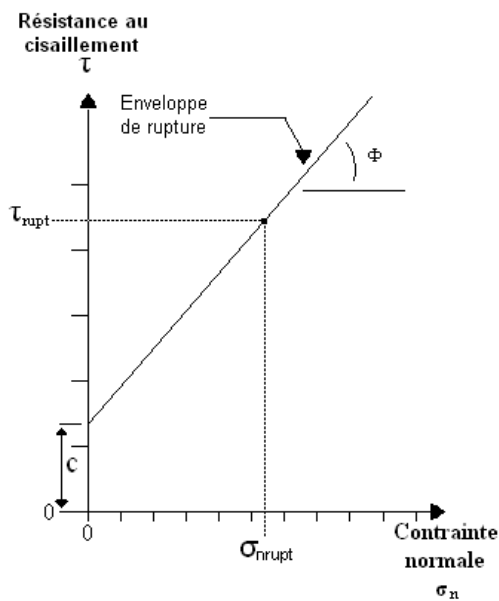
Pour les sols très légers (pulvérulents), la cohésion est nulle, la résistance au cisaillement n'est fonction que de Φ et l'équation prend la forme suivante :

$$\tau_{rupt} = \sigma_{n_{rupt}} \operatorname{tg} \phi$$

Φ varie selon la texture (Dalleine E, 1971)

Les paramètres servant à évaluer la résistance au cisaillement d'un sol à la rupture sont donc la cohésion et l'angle de frottement. Quand on connaît la valeur de ces paramètres, il est facile de calculer τ_{rupt} correspondant à $\sigma_{n_{rupt}}$. La figure suivante illustre la relation décrite par l'équation de Coulomb appliquée aux sols cohérents et aux sols pulvérulents.

a) Equation appliquée aux sols cohérents



b) Equation appliquée aux sols pulvérulents

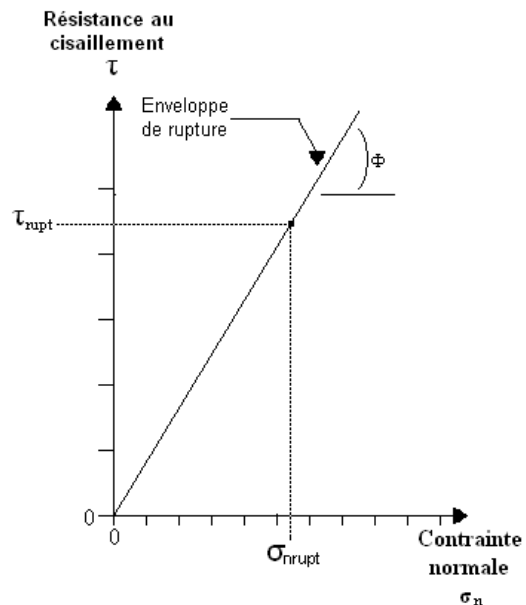


Figure 8 : Graphiques de l'équation de Coulomb.

La droite issue de l'équation constitue l'**enveloppe de rupture**, c'est-à-dire la limite linéaire où se trouve la gamme des contraintes σ_{nrupt} et τ_{rupt} agissant sur le plan de rupture. Il ne peut y avoir aucun point au-dessus de cette droite, car au-delà de cette limite, l'équilibre des contraintes est rompu, et le sol est instable. Un point situé sous l'enveloppe représente des contraintes en équilibre et une résistance au cisaillement, suffisante pour assurer la stabilité du sol. De ce fait l'objectif du travail du sol est d'aller au-delà de la limite de stabilité du sol pour le mener vers une rupture. Par le travail du sol les agronomes cherchent la rupture et la déstabilisation du sol travailler.

Dans la plupart des cas, c'est une augmentation importante de la contrainte verticale (σ_v) faisant suite à l'application d'une surcharge à la surface du sol qui cause la rupture. En agriculture dans un travail de labour le soc de la charrue tracté provoque le cisaillement du sol dans le but de retourner la bande de terre. Dans cette opération de labour on peut observer aussi un phénomène de frottement. La résistance au cisaillement est causée par le frottement.

La valeur de l'angle de frottement interne Φ et de la cohésion c varient d'un sol à un autre, surtout en fonction de certaines propriétés physiques, de la compacité, de la

quantité d'eau contenue dans les vides du sol et des conditions de drainage. Plus l'angle de frottement et la cohésion seront grands, plus élevée est la résistance au cisaillement.

Les modèles de BINESSE et LARSON et al utilisent la cohésion et l'angle de frottement interne pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction. Les deux estiment que les paramètres cohésion et angle de frottement interne influencent l'énergie nécessaire à un travail du sol donnée.

8.2.3. Le Frottement

Le frottement est un phénomène qui existe entre les particules et les couches du sol, et aussi entre la surface métallique de l'outil et le sol. Il est défini par un coefficient de frottement sol métal, mis en évidence par la loi de **Coulomb** :

$$\mu = \operatorname{tg} \phi = \frac{T}{N} \quad T : \text{Force de résistance au frottement}$$

N : Force normale à la surface travaillante

ϕ : Angle de frottement externe.

D'après **Kanfojski et AL, 1967**, cité par (Nakib. H., 1986)

Les valeurs de μ varient en fonction de la texture du sol, son humidité, de l'état de surface des pièces travaillantes et de la vitesse de déplacement de l'outil.

- Pour les sols sableux et limoneux, le coefficient de frottement diminue avec la croissance de l'humidité.
- Pour les sols limoneux, la valeur du coefficient de frottement diminue de 50% à une humidité de 28%.
- Pour les sols argileux, le coefficient de frottement augmente mais chute rapidement à une humidité de 20%.

8.2.4. L'Adhérence ou l'adhésion

L'adhérence est la tension superficielle de la solution du sol grâce à laquelle les fragments de terre adhèrent les uns aux autres (Henin. S, 1969) ; (Dalleine E, 1971).

Pour diminuer l'adhérence entre le sol et la surface métallique de l'outil, il faut travailler lorsque la cohésion est faible et le taux d'humidité est élevé, pour qu'il y ait passage du film d'eau du sol au métal et en assure la lubrification.

Les facteurs qui influencent l'adhésion sont l'humidité, la texture du sol et à un degré moindre, la surface des pièces travaillantes.

Tableau 13 : Propriétés Mécaniques de quelques textures de sols

Nature du sol	Angle de frottement interne	Cohésion en Kg/cm ²
Sable	35 à 40°	
Sable argileux	30 à 35°	0,1 à 0,3
Limon	25 à 30°	0,2 à 0,5
Argile maigre	24 à 28°	0,05 à 0,5
Argile grasse	15 à 24°	Jusqu'à 10
Tourbe	15 à 24°	Jusqu'à 10

Source : Isabelle Jeuge-Maynard et Al, 1976

Cette partie met en évidence l'Intérêt des informations du sol sur l'évaluation énergétique lors des travaux de préparation du sol pour la mise en place des cultures. Les paramètres recensés dans cette partie de notre travail ont un effet sur l'effort de résistance à la traction et par conséquent sur la consommation de l'énergie nécessaire pour effectuer un travail du sol. Certaines valeurs de ces paramètres augmentent l'effort d'un travail données alors que d'autres valeurs diminuent l'effort de traction pour un travail du sol données. Ces caractéristiques du sol conditionnent le comportement du sol par rapport à l'action des outils de travail sur le sol par le frottement sol-sol et sol-outil, les forces de cohésion du sol, la limite de rupture ou de cisaillement du sol ainsi que la structure et la texture du sol, l'humidité et la masse volumique ou densité de ce milieu sol.

Tous ces facteurs ou paramètres caractéristiques du sol seront utilisés directement ou indirectement au niveau du programme informatique.

Chapitre 9 : Paramètres liés aux caractéristiques géométriques des outils aratoires

Les caractéristiques géométriques des pièces travaillantes des outils aratoires ont un intérêt fondamental dans l'évaluation de l'effort de résistance à la traction, donc indirectement dans l'évaluation des besoins en énergie.

9.1. Forme générale des outils à surface actives gauches ou complexes (corps de charrue à socs)

Les charrues à socs sont composées de deux parties principales qui sont : le soc et le versoir. Chacune de ces deux parties a ses propres caractéristiques, la modification de ces caractéristiques introduit une variation de l'effort de résistance à la traction par la variation de cisaillement.

9.1.1. Caractéristiques géométriques du soc

La forme du soc est très variable, elle dépend principalement de l'usure et du type de sol.

La forme trapézoïdale donnée aux socs est la plus couramment employée.

Quatre angles constructifs du soc ont été définis par : (Dalleine E, 1971) et (Sandru, A., 1975) sont comme suit :

- Angle d'entrure (α)
- Angle d'attaque (β)
- Angle du dièdre (θ)
- Angle de basculement (λ)

(Dalleine E, 1962), a donné les valeurs des angles du soc, selon les dimensions du versoir qui sont représentées dans le tableau suivant

Tableau 14 : Angles du soc Selon (Dalleine E, 1962) :

Angles en (°)	Longueurs arrière du versoir (pouce)				
	10	11	12	14	16
α_0	20,7	22	22	25,5	25,5
β_0	36,5	40	41,5	42	42
θ_0	32	34	32,5	32,5	35,5
λ_0	27	26,5	29,5	30	26,5

(Source : Annales Agronomiques, 1962.)

9.1.2. Caractéristiques géométriques du versoir

Les formes du versoir sont très nombreuses et complexes, leurs effets sur l'effort de résistance à la traction sont très variables, néanmoins il serait intéressant de rappeler quelques caractéristiques importantes.

Le versoir est défini par des grandeurs géométriques : angles et longueurs qui provoquent la dislocation, l'émiettement, le retournement de la bande de terre et le dégagement de la raie de labours.

Le tableau ci-dessous, donne les valeurs relatives aux versoirs suivant les diverses formes existantes, représente les longueurs d'un versoir qui sont définies comme suit :

- $L_1 = AL$: Longueur maximale du corps
- $l_1 = BL$: La plus grande dimension du versoir
- $L_2 = Cl$: Longueur du bord supérieur du versoir
- $m = DM$: Largeur du bord inférieur jusqu'au point de courbe maximale
- $h = CC'$: Hauteur de chute du point C jusqu'au fond de labour de C'
- $c = AC$: Distance entre la pointe du soc et le point d'inflexion C
- $d_1 = LL'$: Largeur arrière du versoir
- $d_2 = DD'$: Largeur de la gorge du corps de la charrue ou largeur minimal
- $d_3 = MM'$: Largeur du versoir au point de courbure maximale

Ces caractéristiques sont illustrées sur les figures suivantes :

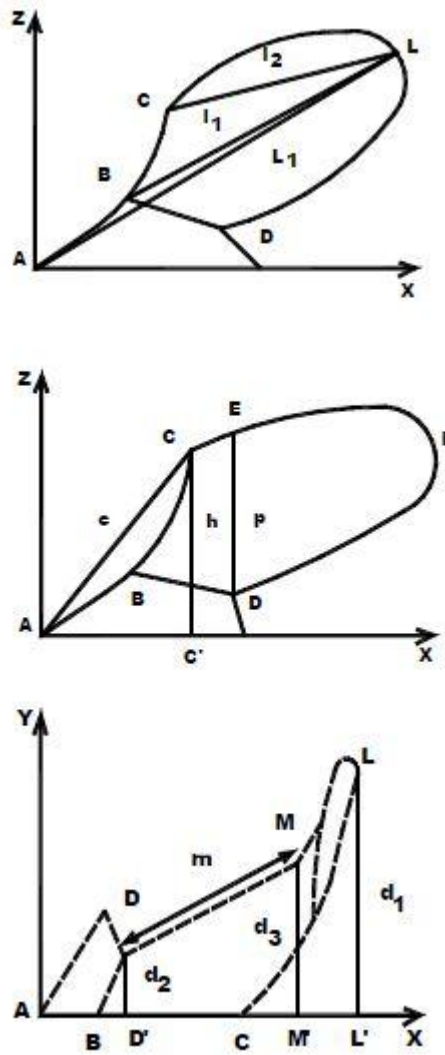


Figure 9 : Caractéristiques dimensionnelles d'un corps de charrue à socs. (Amara, 2009)

Les angles sont exprimés par les relations suivantes :

$$\sin \vartheta = d_1 / l_1 ; \quad \sin \varepsilon = (d_3 - d_2) / m$$

$$\sin \delta = d_1 / L_2 ; \quad \sin \lambda = h / c$$

Tableau 15 : Angles du versoir Selon (Dalleine E, 1962)

Angles en (°)	Types de versoirs			
	Cylindrique	Universel	Semi-hélicoïdal	Hélicoïdal
α	35	31	-	35
β	53	46	46	46
θ	26	21	18	18
δ	40	34	34	31

(Source : Annales Agronomique, 1962.)

9.2. Forme générale des outils à surface simple (Outils à dents)

9.2.1. Caractéristiques géométriques des socs des outils à dents

Un soc est caractérisé par :

- La Forme générale
- La Largeur
- La Longueur
- L'Épaisseur
- L'Angle du tranchant
- L'Angle de dépouille
- L'Angle d'affûtage

9.2.2. Caractéristiques géométriques d'une dent de cultivateur

Une dent est caractérisée par :

- le rayon de courbure
- la hauteur de l'étauçon
- l'épaisseur
- la largeur
- l'angle d'entrure

Ces caractéristiques constructives sont interdépendantes.

Chapitre 10 : Paramètres liés aux conditions de travail

10.1. Influence de la profondeur et de la largeur de travail

Pour les mêmes conditions de sol (humidité, texture, structure) l'effort de résistance à la traction augmente avec la profondeur et avec la largeur de travail.

10.2. Influence de la vitesse de travail

L'effet de la vitesse sur la force de résistance à la traction a porté l'intérêt de plusieurs chercheurs. Les résultats des études de (Nikiforov, 1974), (Gowell. G, 1985), (Wheeler. PN and Godwin. RJ, 1996), réalisées dans différentes conditions de travail marquent la sensibilité de l'effort de traction à la variation de la vitesse.

Remarquablement, en fonction de la vitesse la force de résistance à la traction subit un accroissement. Cette augmentation peut s'expliquer par la dépendance contrainte de cisaillement – vitesse de déformation du sol.

Tableau 16 : variation de Ft en fonction du type du sol et de la vitesse

Sol	Efforts résistants (N / cm ²)
Limoneux	$7.0 + 0.049 V^2$
Limono argileux	$6.0 + 0.053 V^2$
Argilo limoneux	$4.0 + 0.024 V^2$
Limon fin sable	$3.0 + 0.032 V^2$
Limono sableux	$2.8 + 0.013 V^2$
Sable	$2.0 + 0.013 V^2$

Source : A.S.A.E Standards (1986), cité par (Coulomb. I, 1991)

10.3. Influence de la taille de l'outil

La force de résistance à la traction marque de nets accroissements avec l'augmentation de la taille de l'outil. Ceci a été prouvé par les résultats expérimentaux (Ladi. S and Ouzlifi. A, 1994), (Bouzit. G, 1995), quelles que soient les conditions de travail, l'effort de traction de l'outil croit en fonction de la taille de l'outil ce qui peut être expliqué par la dimension de la surface de pression concernée.

10.4. Influence des pièces Travaillantes

Selon certains auteurs, **Tanner et Dean, 1963**, O'callaghan. J.R and McCoy. J.G, 1965, in (Coulomb. I, 1991), la présence des coutres contribuent pour 10 à 15% à l'effort résistant de la charrue (cas des coutres droits)

Les essais comparatifs dans les sols sableux, montrent que le remplacement des contre seps par une roue de jauges mène à une réduction de l'effort résistant de la charrue, d'après **Ashby et AL, Clyde (1944)**, in (Coulomb. I, 1991).

10.5. Influence de l'état des outils

Il a été démontré que l'usure des pièces travaillantes des outils fait doubler leurs consommations en énergie. Ainsi que l'utilisation d'outils non adapter entraîne des pertes considérables en énergie. Donc l'usure et l'adaptabilité des outils sont des paramètres à prendre en considération si on veut réduire les pertes en énergie.

10.6. Influence de l'état du tracteur

La puissance et la maintenance du tracteur sont les principales caractéristiques qu'il faut prendre en considération. Par exemple pour un tracteur c-6006, les principales caractéristiques techniques sont données dans le tableau n° 5 ci-dessous :

Tableau 17 : la caractéristique technique du tracteur a la prise de force.

Paramètres	Régime vide	Régime nominal	Régime surcharge
Nm (tr/mn)	2484	2300	1500
Pe (cv)	0	61	44,80
Mm (Kg.m)	0	19	21,80
Gh (Kg/h)	4,66	10,37	7,48
gs (g/cv.h)		170	167

Source : (Amara. M, 1978).

Donc un tracteur de 60 CV qui labour par exemple, répartit son énergie comme suit :

Puissance développée au moteur en utilisation normale.....49 CV 49cv

Puissance perdue aux transmissions.....6 CV

Puissance perdue en roulement.....5 CV 18cv

Puissance perdue en glissement.....7 CV

Reste de la puissance à la barre.....31cv

La moitié de la puissance nominale est reçue au niveau des pièces travaillantes 31cv seulement des 60cv. En plus pour le labour le tracteur à besoin de lest ou de masses alourdissantes pour l'adhérence, un supplément d'énergie est nécessaire pour l'auto déplacement du tracteur.

L'utilisation de la prise de force rendra inutile le lest et les masses alourdissantes, donc une économie de la traction.

Chapitre 11 : Critiques des différentes méthodes

La Précision et fiabilité des méthodes d'évaluation de l'énergie lors d'un travail du sol pour la mise en place d'une culture est fonction des moyens utilisés. Les conditions d'évaluation sont aussi importantes que les moyens utilisés. Il en ressort que chaque méthode présente des avantages et des inconvénients.

11.1. Avantages et inconvénient des méthodes de calcul de l'énergie

- 1- méthode du réservoir plein : cette méthode permet d'évaluer le carburant consommé dans des conditions bien définie. C'est une méthode directe comparé à celle de la capacité de travail, mais elle n'est pas précise, excepté l'état du tracteur cette méthode de calcul n'exprime pas dans sa formulation la forme de l'outil, les caractéristiques du sol ni les conditions de travail. Toute fois elle nous permet d'avoir une idée globale sur la consommation d'énergie pour un itinéraire technique donner, la fiabilité reste dépendante des données livrais par le constructeur du moteur et n'apparais en aucun cas sur l'outil lui même alors que la faisabilité est très appréciable c'est une méthode facile à utiliser et les résultats sont instantanés. La méthode du réservoir plein dépend directe de la fiche technique du constructeur ou la valeur de la consommation horaire est converti directement en tonne d'équivalent pétrole (Tep). Diminuer la consommation du carburant dans ces conditions implique une amélioration des performances du moteur. Cette méthode nous permet de choisir le tracteur qui convient à une machine donnée pour un travail précis.
- 2- méthode de la capacité de travail : Cette méthode reste très général et ne présente aucun élément de précision, l'énergie n'est qu'une partie de la capacité de travail. Il est difficile de faire ressortir la part de l'énergie dans cette méthode de calcul.
- 3- méthode de l'effort de résistance à la traction : méthode la plus précise des trois, possibilité d'utilisation uniquement par des spécialistes du domaine ainsi que des chercheurs et concepteurs. Un simple agriculteur (non agronome) ne pourra pas utiliser cette méthode.

11.2. Analyse des modèles choisis

Ci-dessous sont représentées quelques valeurs des caractéristiques qui nous permettront d'évaluer l'effort de résistance à la traction des modèles choisis. Ces modèles permettent l'estimation des besoins énergétiques des travaux de préparation du sol. Les valeurs présentées concernent respectivement les caractéristiques du sol, les conditions de travail et les caractéristiques des outils. Les valeurs de l'effort de résistance aux tractions résultantes des calculs sont consignées dans deux tableaux.

Le tableau 23 présente les valeurs de l'effort de résistance à la traction pour les charrues à socs pour les modèles GORJSCHKINE, GEE CLOUGH et BINESSE. Alors que le tableau 24 présente les valeurs de l'effort de résistance à la traction des modèles BINESSE et BOUBRIT.

Tableau 18 : Caractéristiques du sol

Caractéristiques	Valeurs
Densité apparente initiale	1,2 g/cm ³
Humidité	18%
Cohésion (CI)	7 daN/cm ²

Tableau 19 : Conditions de travail

Conditions de travail	Outils	
	Charrue	Cultivateur à dents
Largeur	35cm	4cm
Profondeur	25cm	15cm
Vitesse	4Km/h	7Km/h

Tableau 20 : Valeurs de la profondeur et de la largeur de travail ainsi que du coefficient de stabilité de la bande de terre pour différents types de labours.

Type de travail	Profondeur	Largeur	Coefficient b/a	
	a (cm)	b (cm)	Pratique	Théorique
Très profond	35 à 100	40 à 70	0,7 à 1,1	0,7 à 1,0
Profond	25 à 35	30 à 40	1,1 à 1,5	1,2 à 1,3
Moyen	18 à 24	25 à 35	1,3 à 1,8	1,4 à 2,5
Peu profond	15 à 25	30 à 50	1,8 à 2,5	2,0 à 2,5
Superficiel	5 à 12	24	2,0 à 5,0	2,0 à 2,5

Source : (Kanafojski, C, Z., 1967)

Tableau 21 : Caractéristiques angulaires constructives des différentes Formes de corps de charrues à socs.

Type du versoir	Angles (°)		
	Angle d'attaque	Angle de pénétration	Angle d'incurvation
Cylindrique	22 – 20	15 – 20	40 – 50
Cylindro-hélicoïdale	22 – 28	14 – 18	35 – 45
Semi-hélicoïdale	20 – 25	12 – 15	30 – 35
Hélicoïdale	20 – 25	12 – 15	30 – 35

Source : (Sandru, A., 1975)

Tableau 22 : Caractéristiques géométriques des outils à dents utilisés

Caractéristiques	Forme de la dent	
	Dent rigide Escamotable	Dent flexible à simple courbure
Hauteur de la dent H (mm)	484	468
Largeur de la dent b (mm)	49	41
Épaisseur de la dent e (mm)	19	06
Type de soc	Soc de scarifiage	Soc de scarifiage
Forme du soc	Plat et incurvé	Plat et incurvé
Largeur du soc b (mm)	40	37
Longueur du soc l (mm)	248	235
Épaisseur du soc e (mm)	12	10

Source : (Guediouira, 2001)

Tableau 23 : Résultat de l'effort de traction pour un corps de la Charrue à socs

Forme	Modèle Gorjatschkin	Modèle Gee Clough	Modèle Binesse
Versoir cylindrique	1517.746*daN	388.791daN	207.149daN
Versoir Hélicoïdal	761.574*daN	388.791daN	207.149daN
Versoir Cultural	1139.665*daN	388.791daN	207.149daN

* La charrue est portée.

Tableau 24 : Résultat de l'effort de traction pour une dent du Cultivateur à dents

Forme	Modèle Binesse	Modèle Boubrit
Soc de la dent rigide	14.20daN	5.679daN
Soc de la dent flexible	14.20daN	8.06daN
Soc de la dent simple	14.20daN	8.06daN

Source des tableaux 23 et 24: (Badouna, 2009)

Conclusion

A travers les résultats obtenus et rapporté dans le tableau N°14 et le tableau N°15 nous remarquons que pour un même outil et dans les mêmes conditions de sol et de travail, l'effort de résistance à la traction est différent quand on passe d'un modèle à un autre.

Pour certains modèles l'effet de la forme de l'outil apparaît très nettement (**Gorjatschkin** et **Boubrit**).

Le modèle de **Gorjatschkin** donne des valeurs très importantes par rapport aux deux autres modèles utilisés et cela malgré les valeurs minimales de ε (epsilon).

Selon (Amara, 1983), la valeur moyenne de l'effort de résistance à la traction dans un sol moyen est de 450 daN à 25 cm de profondeur ; Sans oublier que K, le coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre, choisi pour l'équation de **Gorjatschkin** est $50\,000\text{ N/m}^2$, conditionne au départ les valeurs de l'effort de résistance à la traction obtenues.

Les conditions précises dans lesquelles ces modèles ont été établis et les outils utilisés à cet effet sont pour beaucoup dans la différence des résultats de calcul de l'effort obtenus.

A partir de ces remarques, il apparaît nettement que le choix d'un modèle à utiliser pour la détermination de l'effort est délicat. D'où la nécessité de créer une base de données (résultats expérimentaux) assez riche pour la réalisation des modèles mathématiques plus fiables. L'établissement de cette base de données pourrait être réalisé à l'aide d'un programme informatique (logiciel) permettant de déterminer facilement et rapidement les valeurs des efforts de résistance à la traction en mettant en évidence les caractéristiques qui influencent ces valeurs. C'est le but de notre travail.

L'analyse faite dans ce chapitre nous permet de faire ressortir deux méthodes de calcul de l'énergie consommé dans la préparation du sol pour un itinéraire donné.

- Méthode du réservoir plein souvent vérifiée par la relation :

$$Gh = g_s \times Pt \text{ (l/h) litre par heure.}$$

Cette consommation horaire du carburant est augmentée de 8 à 12% pour le réglage et l'entretien du moteur, une vitesse inadaptée augmente la consommation du carburant de 3 à 7%, un excès de glissement augmente la consommation du carburant de 3 à 7% et le réglage et l'entretien des outils augmente la consommation du carburant de 2 à 10%. Les valeurs minimales dans chaque cas représentent l'utilisation du tracteur dans des conditions optimales et les valeurs maximales représentent un état d'usure très important entre les deux c'est à l'utilisateur de choisir la valeur correspondante à l'état du tracteur et qui va augmenter la consommation du carburant de ce tracteur.

Alors que pour l'effort de résistance nous avons retenue cinq modèles, qui sont pour les charrues à socs le modèle (Gorjatschkin. VP and Sohene, 1960) et le modèle (Amara, 2007), pour la charrue à disque le modèle **Gee Clough (1972)** en fin pour les outils à dents le modèle (Binesse, 1970a) et le modèle (Boubrit, 2000). Les composantes de chaque modèle sont précisées dans les paragraphes précédents. Toutes ces informations traiter nous permettrons de concevoir un programme informatique dans le but de générer une base de données pour calculer l'énergie consommée dans un itinéraire technique ou bien de simuler la consommation énergétique d'une mécanisation des travaux agricoles.

III^{ème} partie : Analyse des conditions de l'évaluation énergétique

La réflexion sur la réalisation d'un programme informatique conditionnant l'évaluation énergétique lors d'un travail du sol en utilisant les modèles mathématiques, nous a mené à poser un certain nombre de questions. Ces questions tournées au tour des mécanismes de l'évaluation de l'effort de traction.

Quoi évaluer ? Comment évaluer ? Pourquoi évaluer ? Quand il faut évaluer ?
Où évaluer ?

Pour les premières questions il est évident que l'évaluation concernant l'énergie nécessaire pour un travail du sol par le biais de l'effort de résistance à la traction afin de cartographier la répartition des besoins sur un territoire et les puissances correspondantes. Une telle masse d'information permet d'apporter une critique scientifique des besoins énergétiques, la répartition des besoins énergétiques et de machine et tracteurs correspondant aux consommations évaluées.

La dernière question où évaluer ? Il nous a fallu pour cela étudier le milieu et les conditions de cette évaluation avec une nouvelle approche. Cette étude du milieu et des conditions d'évaluation fait ressortir les éléments indispensables à la conception du programme informatique pour l'évaluation de l'énergie. L'approche présentant ces éléments est appelée séquence de traitement de la bande de sol.

L'évaluation des besoins énergétiques lors du travail du sol pour la mise en place des cultures dépend de trois groupes de paramètres. Des paramètres liés au sol, des caractéristiques liées à la géométrie des machines de travail du sol, des conditions de travail du sol liées à l'outil de traction. Ces groupes de paramètres sont étroitement liés les uns aux autres et leurs interactions seront présentées dans ce que nous appellerons « séquence de traitement de la bande de sol ».

Pour la conception d'un programme informatique, la détermination des conditions sol pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction afin de déterminer les consommations énergétiques lors du travail du sol, a été une contrainte ; cela est dû au manque de travaux et de données qui lient les conditions physiques et mécaniques du sol entre elles.

Pour cela, nous avons été contraint de croiser des données de travaux différents pour proposer un minimum de caractéristiques des sols, comme les textures, les masses

volumiques, les cohésions et angle de frottement interne, qui soient cohérentes et exploitables.

Dans cette partie, outre la mise en évidence des paramètres sols et de quelques relations entre ces paramètres, nous expliquerons nos choix tracteurs et machines agricoles qui détermineront à la fois les conditions de travail du sol (vitesse, largeur et profondeur de travail) ainsi que les caractéristiques géométriques des pièces travaillantes des outils aratoires prédéfinies par les constructeurs et les concepteurs des machines utilisées pour la mise en place des cultures.

Les caractéristiques des sols agricoles ainsi que les caractéristiques de la géométrie des outils conditionnant les formes et ce que nous appellerons séquences de traitement de la bande de sol. Cette séquence de traitement sera présentée dans le chapitre 14 de cette partie du document.

La bibliographie enrichie des travaux réalisés sur les sols et les formes géométriques des machines agricoles présentés sous forme de table ou de carte nous renseigne sur la distribution texturales des sols agricoles, les vocations des terres agricoles, les précipitations.

Ces données permettent de définir les types de travaux et les outils à utiliser pour chaque travail. Ils permettent par la suite de proposer une carte des répartitions des efforts de tractions et par conséquent une carte des consommations énergétique lors des différentes étapes de la préparation des sols agricoles pour la mise en place d'une culture.

Les données recensées dans la bibliographie constituent les éléments de départ de notre base de données informatique.

Les cartes utilisées sont dans certains cas géo-localisées alors que d'autres sont des simples cartes minutes afin de tirer des informations jugées pertinentes.

Chapitre 12 : Condition sols

12.1. Introduction

L'objectif de la manipulation mécanique du sol par les labours et autres interventions dans les productions agricoles est d'offrir des conditions de sol et d'environnement favorables à la croissance des cultures en transformant un état initial défavorable à un autre état présentant ces conditions. Cette transformation porte évidemment sur la modification des propriétés physiques et mécaniques du sol qui seront quantifiées par l'humidité, la masse volumique, la porosité et la cohésion du sol. Ces transformations nécessitent évidemment un besoin en énergie, ce besoin est fortement conditionné par l'état initial du sol.

Le mode d'action des pièces travaillantes des différents outils aratoires sur le sol influe sur la densité apparente ou masse volumique, sur la distribution motte-taille et leurs dispositions dans la couche labourée ainsi que sur la rugosité (microrelief) de la surface du sol.

Certains outils de travail du sol ont montré les possibilités de contrôle de la distribution de la taille de motte final produite. L'observation visuelle a indiqué que les outils à dents vibrants et les outils animés développeront plus des petits agrégats du sol que ne le font d'autres outils de travail du sol tels que les charrues à socs et à disques.

Les outils de travail du sol vibrants peuvent être plus efficaces du point de vue besoins d'énergie pour produire un état final du sol. Car la transmission de la puissance par le biais des organes de traction est faible par rapport à la transmission de prise de force. (Johnson and Buchele, 1969). En d'autres termes, ça consomme moins d'énergie par ce que ça transmet moins de puissance.

Ces différents paramètres, qu'ils soient physiques ou mécanique sont très souvent introduits dans les modèles mathématiques proposés pour la détermination des besoins en énergie pour la réalisation des opérations de travail du sol. Définir et expliquer cette entité sol ou son état initial, nous permettra de mettre ces modèles dans leurs contexte.

Les sols ne sont pas caractérisés uniquement par leurs propriétés physiques et mécaniques, ils le sont aussi par leurs propriétés chimiques et biologiques. Ces dernières ne sont pas prises en compte par les modèles mathématiques.

Toute fois la surface des exploitations agricoles et la nature juridiques de ces sols agricoles ont une importance capitale dans l'explication et l'interprétation de certains résultats même si ils n'ont aucune relation avec l'évaluation de l'effort de résistance à la traction lors d'un travail du sol. Cette importance devient évidente lorsque nous déterminons l'effort de résistance à la traction d'un travail du sol et la puissance nécessaire à ce travail alors que l'agriculteur ne possède qu'un demi-hectare.

Dans ce qui suit nous présenterons, d'une manière générale, quelques informations relatives aux sols. Ces informations nous seront utiles pour l'évaluation des besoins en énergie en relation avec le type de sol et donc de la région.

12.2. Sols

Notre intérêt pour les différentes natures du sol est étroitement lié aux modèles mathématiques utilisés dans le programme informatique à élaborer. Certains coefficients prennent des valeurs différentes d'une nature de sol à une autre.

Les sols sont de natures différentes, cette nature est liée à leurs textures, à leurs profondeurs, à leurs rétentions en eau, à leur résistance spécifique et à la présence de calcaire. Certains classeront les sols en sols lourds, moyens et légers, caractérisés respectivement comme suit :

Sol argileux, lourd :

- Aspect : compact, collant lorsqu'il est humide, très dur et fendillé lorsqu'il est sec.
- Avantages : retenant bien l'humidité et les minéraux. Ce type de sol peut être productif s'il est correctement enrichi en éléments nutritifs.
- Inconvénients : il est difficile à travailler et s'engorge vite lors de fortes pluies. Compact, il empêche une bonne circulation de l'eau et de l'air, et un

enracinement profond. Ce type de sol se réchauffe lentement au printemps, occasionnant un retard de la végétation.

Sol limoneux, riche :

- Aspect : doux au toucher, poudreux lorsqu'il sèche.
- Avantages : très fertile, il est facile à travailler, propice au bon développement des plantes.
- Inconvénients : fragile, il a tendance à former une croûte sous l'effet de la pluie et des arrosages.

Sol humifère, riche en humus :

- Aspect : sol spongieux, léger, il est de couleur sombre.
- Avantages : ce type de sol est fertile. il retient bien l'eau (fonctionne comme une éponge), ne colle pas, est facile à travailler, se réchauffe rapidement.
- Inconvénients : le risque d'acidité de ce type de sol peut limiter ou empêcher la plantation de certains végétaux.

Sol sableux, léger :

- Aspect : granuleux au toucher, terre sans cohésion.
- Avantages : très perméable à l'eau et à l'air, ce type de sol est facile à travailler. Il se draine naturellement grâce à sa texture poreuse. Il ne s'engorge jamais et se réchauffe facilement.
- Inconvénients : très filtrant, il retient peu l'eau et peu les éléments nutritifs. Dépourvu de matière organique, il est facilement lessivé lors de l'arrosage ou des pluies. Il doit donc être fréquemment amendé pour rester fertile.

Sol calcaire :

- Aspect : sol blanchâtre d'aspect crayeux, terre souvent légère.

- Avantages : perméable à l'eau, il se réchauffe rapidement
- Inconvénients : Le calcaire peut bloquer certains éléments fertilisants qui deviennent alors non disponibles pour les plantes. Ce type de sol doit être fréquemment amendé. Sec en été, il est facilement boueux en cas de pluie.

Par conséquence, un sol Sableux est un sol léger, un sol Argileux est un sol lourd et le Loam est un sol moyen. Un Loam est une classe texturale composée de moins de 52% de sable, 28 à 50% de limon et de 7 à 27% d'argile. Pour le modèle Gorjaschkin, le coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre ou résistance spécifique du sol K , est liée à cette forme de caractérisation du sol.

Les travaux de Kumar et al., 2012 ont permis de dresser un tableau intéressant liant les textures du sol agricole aux valeurs du cône index suivant la profondeur du sol et la densité de ce dernier. Le modèle de Boubrit, 2000 fait appel à la densité du sol et au cône index pour déterminer l'effort de résistance à la traction.

Tableau 25 : Indice de cône du sol par rapport à la texture du sol, teneur en humidité, et la densité apparente pour un travail de non-labour et travail du sol classique

Field Location	Tillage type ⁽¹⁾	Field/plot No.	Textural parameter			Depth (mm)	Bulk density (Mg · m ⁻³)	Moisture content (%)	Cone index (MPa)
			Sand%	Silt%	Clay%				
Brandon	NT	1	34	33	33	200	1.14	28.10	1.81
	NT	2	16	42	42	200	1.26	30.39	1.62
	NT	3	31	36	33	200	1.41	26.09	2.20
	NT	4	32	33	35	200	1.21	29.66	1.98
	NT	5	31	36	33	200	1.07	30.61	1.63
	NT	6	36	32	32	200	1.31	23.15	2.23
	NT	7	16	48	36	200	1.23	25.83	2.43
	NT	8	34	30	36	200	1.25	27.82	1.87
	CT	1	16	42	42	200	1.09	31.42	1.35
Carman	NT	1	60	15	25	200	1.43	27.30	1.78
	CT	1	80	8	12	200	1.31	17.14	1.58
	CT	2	76	8	16	200	1.24	21.80	1.21
Winnipeg	NT	1	4	42	54	200	1.41	33.48	1.48
	CT	1	4	42	54	200	1.28	32.63	1.37
ST Agathe	NT	1	4	19	77	200	1.13	34.39	1.32
	CT	1	4	19	77	200	0.98	35.52	1.29
Oakville	NT	1	4	19	77	200	1.32	31.49	1.26
	NT	2	4	19	77	50	0.94	42.15	0.18
	NT	3	4	19	77	100	1.10	37.41	0.58
	NT	4	4	19	77	150	1.22	37.97	0.78
	NT	5	4	19	77	200	1.30	33.25	0.98
	NT	6	4	19	77	50	0.97	33.03	0.14
	NT	7	4	19	77	100	1.16	40.36	0.64
	NT	8	4	19	77	150	1.15	38.70	0.90
	NT	9	4	19	77	200	1.34	32.04	1.04
	NT	10	4	19	77	50	0.92	42.15	0.10
	NT	11	4	19	77	100	1.09	39.64	0.59
	NT	12	4	19	77	150	1.20	38.43	0.94
	NT	13	4	19	77	200	1.20	33.43	1.10
CT	1	4	19	77	200	1.07	31.92	1.05	
CT	2	4	19	77	50	1.01	27.13	0.43	
CT	3	4	19	77	100	1.10	37.21	1.04	
CT	4	4	19	77	150	1.27	35.76	1.10	
CT	5	4	19	77	200	1.24	34.83	1.09	
CT	6	4	19	77	50	1.14	21.69	0.17	
CT	7	4	19	77	100	1.42	30.19	0.62	
CT	8	4	19	77	150	1.41	29.39	0.83	
CT	9	4	19	77	200	1.45	27.54	1.04	
CT	10	4	19	77	50	1.13	25.02	0.20	
CT	11	4	19	77	100	1.35	32.16	0.68	
CT	12	4	19	77	150	1.41	31.66	0.92	
CT	13	4	19	77	200	1.42	31.52	1.04	

Note: ⁽¹⁾NT = No tillage; CT = Conventional tillage.

Source : (Kumar et al., 2012)

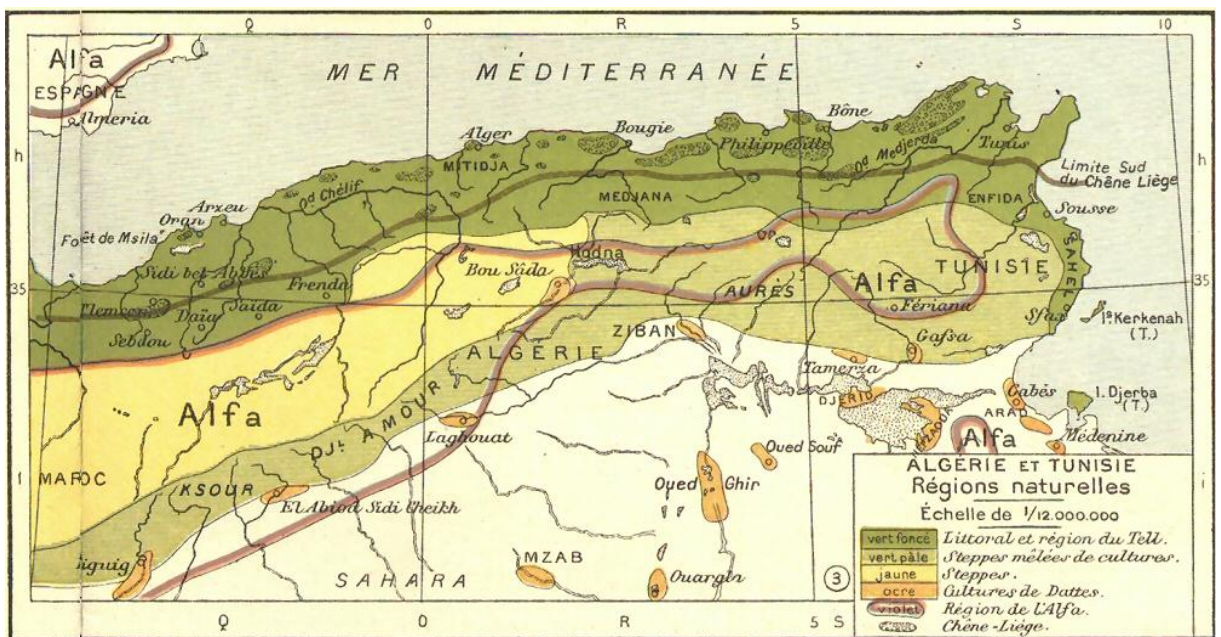
12.3. Cartes des sols en Algérie

Les différentes cartes géographiques sont des moyens de base pour toutes interventions sur les sols et plus particulièrement les interventions à caractères agricoles ou environnementaux. Ces cartes sont généralement riches en informations, cependant leurs actualisations est nécessaire. Comme c'est l'un de nos objectifs dans ce travail, cette partie est relativement détaillée.

Un nombre important de cartes sont disponibles et elles sont de sources diverses. Pour un grand nombre de ces cartes il s'agit de carte minute normalement inexploitable sur des Systèmes d'Information Géographique. Alors que les cartes thématiques géo-référencées et récentes sont difficiles à trouver. La plus part des cartes relativement exploitables sont datées d'avant l'indépendance.

La première carte ci-dessous renseigne sur les zones Littorales et région du Tell, et permet de distinguer les Steppes cultivées des Steppes pures. Les Steppes cultivées sont des terres dites légères alors que dans le Littoral et le Tell nous avons une multitude de configuration texturale. On y trouve les sols argileux dits lourds situés dans les régions Est et Centre du Littoral.

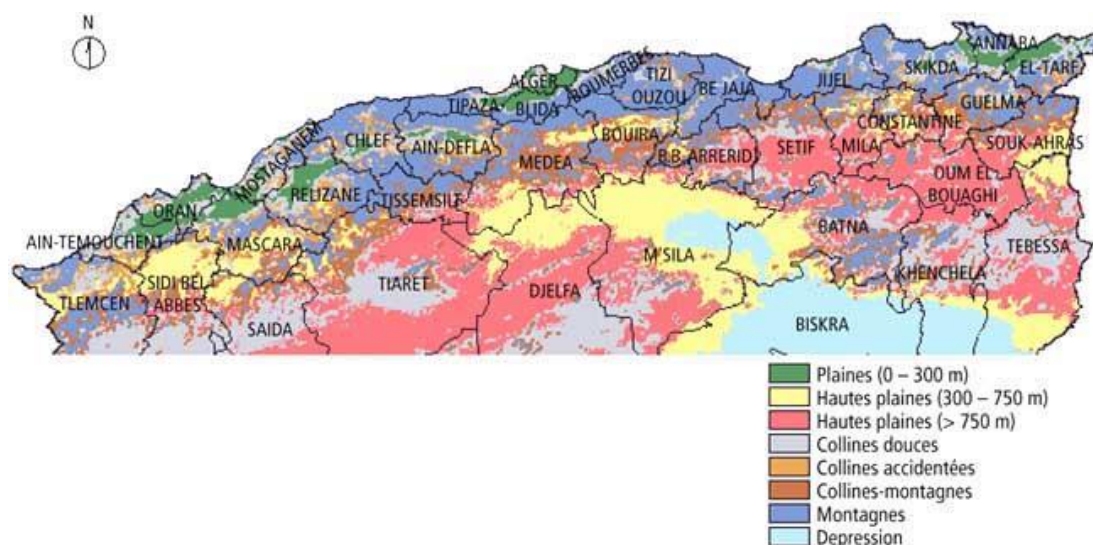
Il a été impossible de dater la carte des régions naturelles de l'Algérie et de la Tunisie.



Carte 1 : ALGERIE ET TUNISIE-Régions naturelles

Source : ("Carte des régions naturelles de l'Algérie et de la Tunisie.," n.d.)

La carte suivante nous renseigne sur la morphologie des sols algériens par rapport au niveau de la mer afin de distinguer les plaines des zones Littorales, des hautes plaines entre (300-750m) et les hautes plaines (>750m) représentant le Tell et certaines zones Steppiques.



Carte 2 : Classification morphologique du nord de l'Algérie

Source : (Abdelguerfi. A et al., 2005)

L'utilisation des modèles mathématiques nécessitent entre autre la connaissance de la répartition des textures au niveau national et régional afin d'estimer l'intensité de l'effort de résistance à la traction lors des travaux du sol.

Il est indispensable de connaitre la répartition des sols cultivés sur le territoire National, et les vocations des terres agricoles. Une telle carte nous permettra de définir la répartition des travaux du sol sur le territoire national.

Le choix du travail du sol est lié à la connaissance de la vocation agricole et à la texture des sols. Prenant l'exemple de Béchar, pour une mise en place d'une culture maraichère dans un sol qui est sablonneux l'opération labour, par exemple, n'est pas nécessaire.

L'analyse des cartes et leurs utilisations doivent nous permettre une acquisition d'un certains nombres d'informations sols. Ces derniers utilisés pour calculer les efforts de résistance à la traction des zones délimités. Les modèles mathématiques permettent cette évaluation de l'effort de résistance à la traction. Une consolidation des résultats des calculs sur le territoire national est l'objectif du programme informatique.

12.4. Occupation des Sols Agricoles

Le Recensement Générale Agricole (MADR and FAO, 2003) et Abdelguerfi. A et al, (2005) ont mis en évidence la contrainte de la taille des exploitations agricoles en

Algérie et la nature juridique de celles-ci. En effet en pourcentage cumulé, la proportion d'exploitations à l'échelle nationale dans la tranche de superficie entre 0 et <20 ha est de 84 pourcent. Comme rapporté dans le tableau suivant :

Tableau 26: Nombre et taille des exploitations selon la tranche de la SAU

Classe de SAU	Exploitations			Superficie			Taille moyenne
	Nombre	%	% cumulé	Ha	%	% cumulé	
0,1 < 0,5	88 914	8,7	8,7	20 109	0,2	0,2	0,2
0,5 < 1	78 266	7,6	16,3	50 407	0,6	0,8	0,6
1 < 2	128 864	12,6	28,9	162 314	1,9	2,7	1,3
2 < 5	239 844	23,4	52,3	722 275	8,5	11,2	3
5 < 10	181 267	17,7	70	1 200 598	14,2	25,4	6,6
10 < 20	142 980	14	84	1 896 466	22,4	47,8	13,3
20 < 50	88 130	8,6	92,6	2 484 971	29,4	77,2	28,2
50 < 100	14 294	1,4	94	930 765	11	88,2	65,1
100 < 200	4 063	0,4	94,4	532 146	6,3	94,5	131
200 et +	1 242	0,1	94,5	458 628	5,4	100,0	369,3
Total	967 864	94,5	94,5				
Hors sol	55 935	5,5	100				
Total	1 023 799	100		8 458 680	100		8,3

Source : (MADR and FAO, 2003)

D'après le tableau précédant on remarque que la taille moyenne pour chaque classe de SAU est plus proche de sa limite inférieure ce qui signifie que les tailles sont réellement très petites quelle que soit la classe de la SAU.

Dans le graphe qui suit la répartition en pourcentage du statut juridique sur l'ensemble du territoire algérien fait apparaître la difficulté d'exploiter certaines terres agricoles et l'indisponibilité d'une partie très importante de la SAU ; par exemple la somme des Melk en indivision non-titré (25,5 pourcent) et titré (14,1 pourcent), donc un total de 39,6 pourcent des exploitations non exploitées. Cette partie est généralement non exploitée pour cause de conflit dans la plus part du temps. Ce sont des terres sur lesquelles il est impossible de faire des projets à long terme.

D'après (MADR and FAO, 2003) 39,55 pourcent des exploitations sont dans l'indivisions et couvrent 46 pourcent de la SAU.

50,14 pourcent des exploitations sont irrigués sur des terres sans titre et couvrent 41 pourcent de la SAU totale.

Exploitations selon le statut de la terre

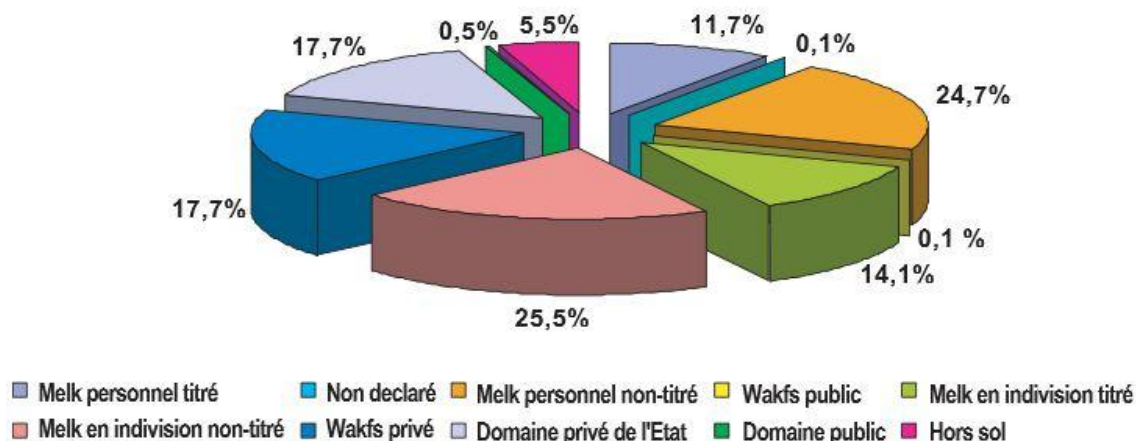


Figure 10 : Proportions des exploitations selon le statut. (MADR and FAO, 2003)

Les cultures qui occupent la SAU en Algérie sont d'après (MADR and FAO, 2003)

- Les grandes cultures : 50,45%.
- La jachère : 39,61%.
- L'arboriculture : 6,39%.
- Les cultures maraîchères et industrielles : 3,24%.
- Les prairies naturelles : 0,31%

D'après le tableau suivant, certains statuts juridiques de ces mêmes terres limitent leurs exploitations. Les conflits familiaux et les décisions politiques ont toujours été les contraintes majeures limitant un certain nombre de mesures pouvant permettre l'augmentation des surfaces des exploitations et par conséquent améliorer leurs conditions de mécanisation.

Tableau 27 : Nombre et surface des exploitations selon le statut juridique de la terre

Origine des terres	Milliers d'exploitations	Superficie ('000 ha)
Melk personnel titré	120,1	1 090,2
Melk personnel non-titré	252,3	847,9
Melk en indivision titré	143,9	1 294,7
Melk en indivision non-titré	261,0	2 624,5
Domaine privé de l'état	181,2	2 541,9
Domaine public	5,4	24,3
Wakf privé	2,2	24,1
Wakf public	0,6	4,8
Non déclaré	1,1	6,4
Total	967,9	8 458,7

Source : (MADR and FAO, 2003)

Pour plus de détails, le tableau ci-dessous met en évidence, les relations entre la spéculation, le nombre d'exploitants et la surface utilisée.

Toutes ces informations sont nécessaires pour toute opération de mécanisation et d'évaluation des besoins en énergie.

Tableau 28 : Répartition des exploitations et des superficies par culture

Cultures	Exploitations pratiquant	%	SAU	%
Céréales	588 621	57,49	3 997 429	47,26
Légumes secs	52 872	5,16	68 883	0,81
Fourrages	84 565	8,26	201 434	2,38
S/T Grandes cultures	726 058	70,92	4 267 746	50,45
Maraîchage de plein champ	160 934	15,72	233 194	2,76
Maraîchage sous serre	9 249	0,9	4 210	0,05
Maraîchage sous abri	620	0,06	505	0,01
Cultures potagères	8 115	0,79	1 202	0,01
Cultures industrielles	17 646	1,72	34 834	0,41
Cultures spécifiques	309	0,03	237	0,003
S/T Maraîchage et CI	196 873	19,23	274 182	3,24
Agrumes	16 806	1,64	46 401	0,55
Arbo N&P	92 482	9,03	118 550	1,4
Arbo rustique	23 477	2,29	23 752	0,28
Figuiers	75 299	7,35	35 949	0,42
Oliviers	129 089	12,61	146 937	1,74
Dattiers	125 680	12,28	103 129	1,22
Vigne de table	23 638	2,31	35 278	0,42
Vigne de cuve	6 366	0,62	24 564	0,29
Pépinières	1 961	0,19	5 794	0,07
S/T Arboriculture	494 798	48,33	540 354	6,39
Jachère	540 156	52,76	3 350 290	39,61
Prairies naturelles	14 770	1,44	26 108	0,31

Source : (MADR and FAO, 2003)

Nombre et taille des exploitations selon la tranche de SAU

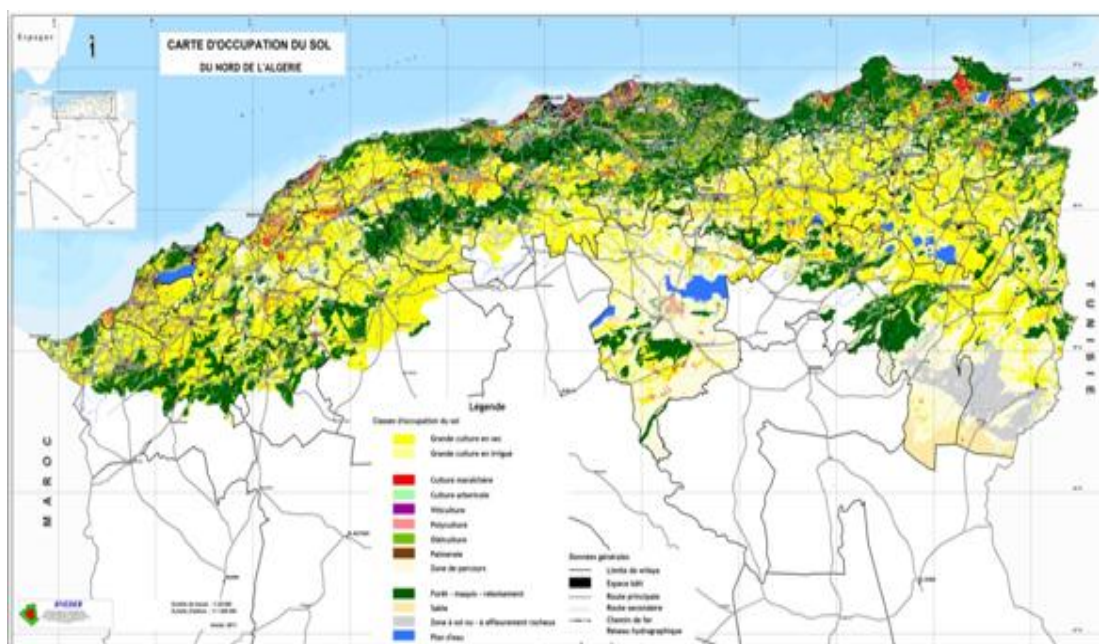
Classe de SAU (ha)	Nombre d'exploitations (milliers)	Superficie (milliers d'ha)	Taille moyenne (ha)
0,1 < 0,5	88,9	20,1	0,2
0,5 < 1	78,3	50,4	0,6
1 < 2	128,9	162,3	1,3
2 < 5	239,8	722,3	3,0
5 < 10	181,3	1 200,7	6,6
10 < 20	143,0	1 896,5	13,3
20 < 50	88,1	2 485,0	28,2
50 < 100	14,3	930,8	66,1
100 < 200	4,1	632,1	131,0
200 et +	1,2	458,6	369,3
Total	967,9		
Hors sol ¹	55,9		
Total	1 023,8	8 458,8	8,3

¹ Hors sol : agriculteurs qui n'ont pas de terres mais ont un élevage et des activités agricoles.

Source : MADR, 2004.

Les petites exploitations représentent la quasi-totalité des terres disponibles ce qui représente un frein au développement de la mécanisation agricole.

Le BNEDER a réalisé l'étude **Cartographique de l'Occupation du Sol** de la région nord de l'Algérie (carte 3), au profit de l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (INSID). La réalisation de cette carte est le fruit de quatre longues années d'études.



Carte 3 : Occupation des sols du Nord de l'Algérie. Etablie par le BNEDER pour le compte de l'INSID en juin 2013. ("BNEDER.dz," 2015)

Afin de permettre aux spécialistes d'analyser la dynamique de l'occupation agricole des sols, la carte de l'occupation du sol constitue un outil important pour la caractérisation de l'économie agricole à travers la répartition géographique. La connaissance de l'activité agricole aide aussi à la programmation de projets gouvernementaux d'envergures.

Pour les responsables de la planification et du développement, la carte d'occupation du sol est un outil indispensable. L'actualisation de la carte d'occupation du sol devient un enjeu capital vue l'importance des mutations rapides qui s'accompagnent d'une restructuration totale du paysage agraire et par conséquent du secteur de l'agriculture. Pour une utilisation optimale, les cartes d'occupation du sol ont été réalisées et présentées sous forme numérique, afin de permettre une mise à jour simplifiée, et une intégration facile à un SIG.

Dans ce sens, la base de données élaborée par le BNEDER, est un outil indispensable, pour les différentes prises de décision dans le domaine de la gestion de l'espace agricole.

L'élaboration de la carte d'occupation du sol du Nord de l'Algérie à l'échelle contractuelle du 1/50 000° (avec une précision de travail du 1/25 000°) repose sur le traitement des images satellitaires et des vérifications de terrain. Dans le document remis à l'INSID, on y trouve entre autres la présentation de la zone d'étude (Nord Algérie), la méthodologie adoptée pour la cartographie de la carte d'occupation, les nomenclatures, les différentes étapes de la réalisation, et tout particulièrement l'occupation agricole, sa répartition spatiale au niveau du territoire et en dernier les résultats statistiques issus de la cartographie à partir de l'imagerie satellites.

Les zones d'étude concerne généralement le nord de l'Algérie et englobe les wilayas suivantes :

Chlef, Oum El Bouagui, Batna, Béjaia, Bouira, Tébessa, Tlemcen, Tiaret, Tiziouzu, Alger, Jijel, Sétif, Saida, Skikda, Sidi Bel Abbes, Annaba, Guelma, Constantine, Médéa, Mostaganem, Mascara, M'sila, Oran, Bordj Bou Arreridj, Boumerdès, Tissemsilt, El Taref, Khenchela, Souk Ahras, Tipaza, Mila, Ain Defla, Ain Témouchent et Relizane.

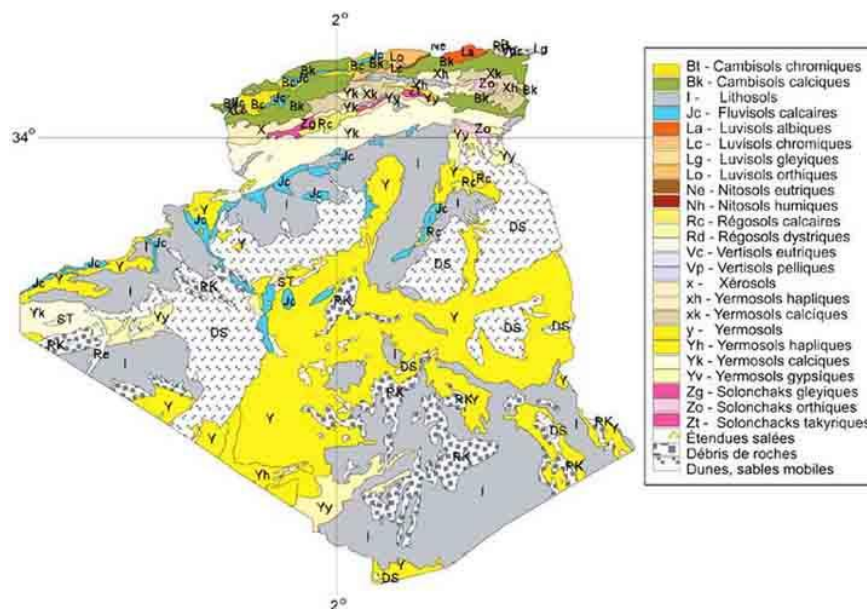
Certaines wilayas, pour manque d'informations, ne sont pas intégrées en totalité à l'image de :

- Médéa : Boughezoul, Bouaiche et Chahbounia.
- Batna : Djezzar, Metkaouak, Ouled Ammar, OuledTaga, Beni Foudhala El Hakania, Sefiane, Barika, Ain Touta, Tilatou, Seggana, Larbaa, Bouzina, Bitam, Menaa, Mdoukal et Tigharghar.
- Tiaret : Reechaiga, Nadorah, Serghine, Ksar Chellala, Zmalet Emir Abdelkader, Faidja, Naima, Ain Deheb, Medrissa, Chehaima, Djebilet Rosfa, Madna et Sidi Abderrahmane.
- Saida : Maamora, Sidi Ahmed Molay Larbi et Ain Skhouna.
- Sidi Bel Abbes : Taoudmout, Oued Sbaa, Sidi Chaib, Bir El Hmam, Marhoum, Ras El Ma, et RedjemDemouche.
- Tlemcen : Beni Boussaid, Beni Snous, Sebdou, Azails, El Gor, Sidi Djillali, El Arricha et El Bouihi.

12.5. Pédologie des sols en Algérie

Aujourd'hui l'INSID en partenariat avec l'ANRH, FERTIAL et d'autres institutions d'état œuvre pour établir les nouvelles cartes des sols agricoles.

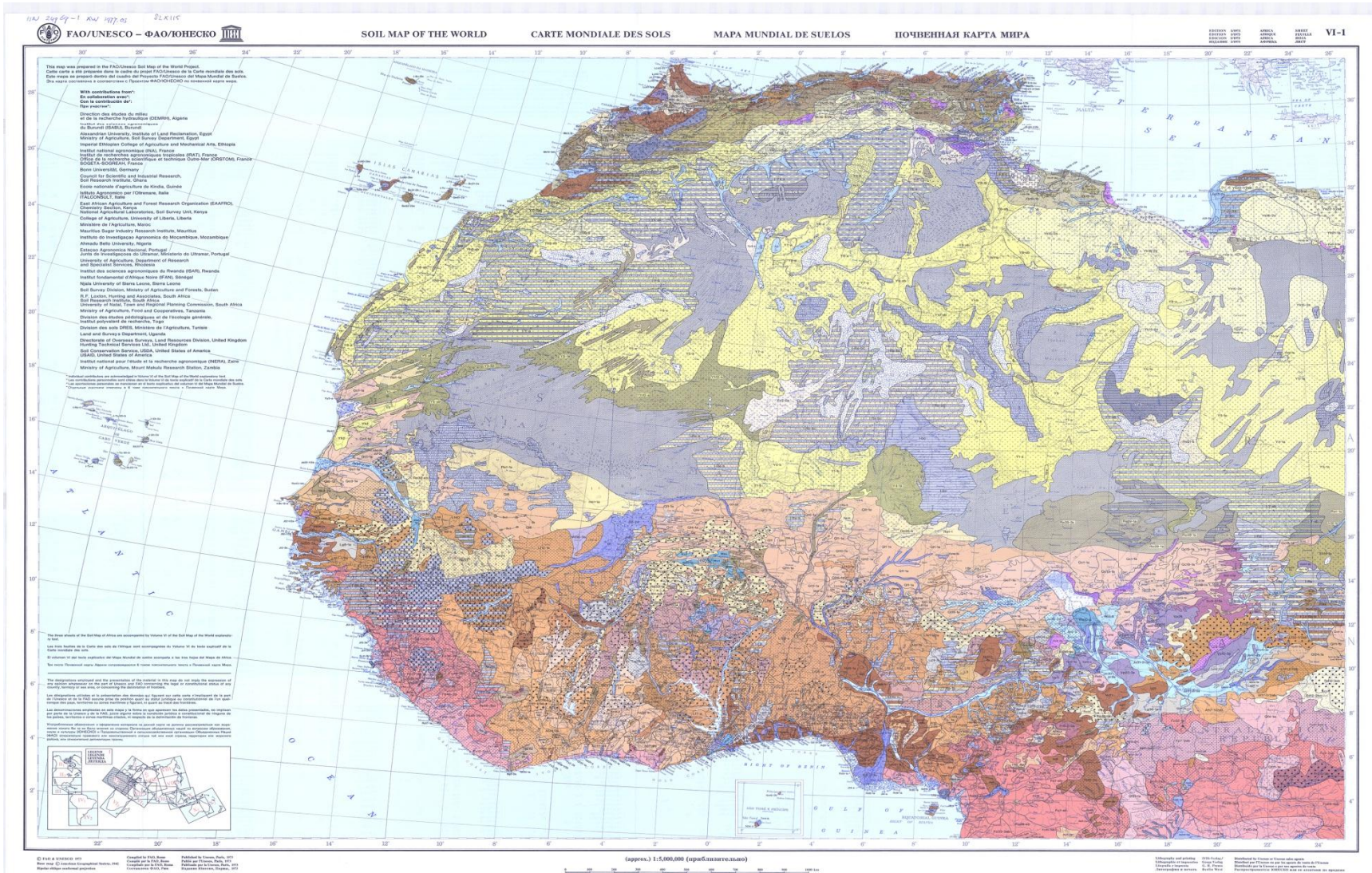
L'INSID a la charge d'établir des Cartes des Terres Agricoles (CTA). Le projet a débuté en 2007 doit être finaliser en 2015.



Carte 4 : sols en Algérie

Source : DSMW-FAO-UNESCO dans Abdelguerfi A. et al, (2005)

Selon la carte suivante établie par la FAO, les données sol de l'Algérie sont approximatives et anciennes du faite du manque de données concernant les sols Algériens.



Carte 5 : Carte mondiale des sols zone Afrique du nord et Afrique centrale. (FAO, 2015)

12.6. Conclusion

Au travers de notre recherche nous avons constaté que :

Les informations complètes sur les sols agricoles algériens sont relativement inexistantes ou inaccessibles.

L'indisponibilité des informations, le manque d'études sur le sujet, l'inachèvement des études en cours font que l'information est manquante.

Ces études, quand elles sont disponibles, ne prennent pas en compte les paramètres mécaniques du sol nécessaires à l'utilisation des modèles d'évaluation de l'effort de résistance à la traction dans le programme informatique prévu. Ces paramètres sont plus particulièrement : la résistance pénétrométrique des sols, les angles de frottement interne des sols, les densités apparentes et masses volumiques des sols algériens.

Pour répondre en partie à ces préoccupations, l'établissement d'un programme informatique spécifique est plus que nécessaire ; il permettra entre autres à mettre en place une base de données importante pour des sujets précis ; dans notre cas il s'agira d'une base de données relative aux besoins énergétiques.

Les études précédemment citées et rapportées dans des tableaux montrent qu'un certain nombre de paramètres peuvent être groupés et reliés à des classes texturales précises. Les classes texturales retenues et auxquelles nous avons associées des valeurs ou intervalles de valeurs correspondantes sont les densités apparentes, les masses volumiques, les angles de frottement interne du sol et les cohésions du sol.

Cette approche nous permettra d'évaluer les efforts de résistance à la traction et les énergies correspondantes. Cette évaluation peut se faire dans l'intervalle des limites des données constituant la base de données informatiques pour des résultats de calculs en valeurs minimales et maximales des consommations énergétiques. Ce sont les intervalles des paramètres qui définissent les modèles d'évaluations.

Cette approche utilisant les intervalles nous permettra de connaître les limites des consommations d'une zone donnée ou même d'une parcelle.

Les analyses du sol faites par les utilisateurs du programme informatique permettront d'avoir plus de précision sur les parcelles à étudier et par conséquent de la zone ciblée. Une analyse avec un quadrillage des parcelles à étudier augmentera la précision des résultats escomptés et leurs répartitions.

Trois types de cartes sont possibles à réaliser avec des résultats obtenus par un programme informatique.

- Des cartes des simulations issues des calculs faits avec les intervalles des valeurs des caractéristiques physico-mécaniques des sols.
- Des cartes peuvent être réalisées suites aux calculs après analyse du sol des parcelles.
- Des cartes avec un quadrillage qui permettront l'obtention d'information précises pour chaque parcelle étudiée.

Chapitre 13 : Effet de l'état du tracteur et des machines agricoles

13.1. Introduction

Ce chapitre traitera deux groupes de paramètres ayant un effet certain sur l'évaluation de l'effort de résistance à la traction. Le premier groupe de conditions de travail du sol sont définies par l'état du tracteur et de sa vitesse d'avancement d'une part, et des caractéristiques propres aux machines agricoles comme la largeur et la profondeur de travail d'autre part. Le deuxième groupe porte particulièrement sur les caractéristiques géométriques des pièces travaillantes des machines agricoles comme les paramètres de construction et de leurs réglages nécessaires pour un travail du sol répondant aux exigences agronomiques.

Ces principaux paramètres sont indispensables à la conception d'un programme informatique complet. Ces paramètres sont respectivement :

Tableau 29 : Tracteurs et Machines agricoles par exploitations

Machines et matériels	Nombre d'exploitations	Nombre de machines
Tracteurs à roue < 45 cv	13 771	14 209
Tracteurs à roue de 45 à 65 cv	43 179	45 768
Tracteurs à roue > 65 cv	24 067	25 443
Tracteurs à chenilles < 80 cv	7 473	7 965
Tracteurs à chenilles > 80 cv	3 401	3 791
Motoculteur	1 921	1 966
Moissonneuse-batteuse 6 m	4 570	4 986
Moissonneuse-batteuse 3 m	3 042	3 236
Véhicule léger	89 829	94 166
Véhicule lourd	22 366	23 838
Charrue	70 757	81 354
Cover-crop	53 717	59 293
Epandeur d'engrais	7 721	8 191
Pulvérisateur ou atomiseur	12 525	13 862
Poudreuse tractée	1 956	2 101
Semoir	8 573	9 106
Faucheuse	20 845	21 813
Ramasseuse-presse	17 588	18 183
Planteuse pomme de terre	2 062	2 175
Arracheuse pomme de terre	2 273	2 425
Remorque	59 858	63 415
Citernes 3000 l et +	48 127	51 020
Motopompe	83 135	94 452
Electro-pompe	69 684	79 620

Source : (MADR and FAO, 2003)

L'analyse de ces données a permis de faire les constats suivants :

- Le nombre d'exploitations disposant d'au moins un tracteur s'élève à 91 891, soit 9% du total des exploitations.
- La SAU rapportée au nombre de tracteurs donne un ratio de : 87 ha/tracteur.
- La sole céréalière et de légumes secs rapportée au nombre de moissonneuses batteuses donne un ratio de 494 ha /MB.
- Le ratio superficie irriguée/ motopompes est de 7 ha.
- Le matériel aratoire, recensé dans le cadre du RGA (charrues et cover-crop), s'élève au nombre de 140 647 unités, soit un ratio de 1,4 unité / tracteur.
- Le nombre de planteuses de pomme de terre s'élève à 2 175 unités.

13.2. Moyen de traction : le tracteur

L'analyse de la situation des tracteurs agricoles sur les différentes exploitations est un facteur très important à connaître pour plusieurs raisons dans les principales sont :

- Le tracteur est la source principale de l'énergie utilisée pour la réalisation des différents travaux agricoles.
- La puissance de ces tracteurs, est aussi un bon indicateur pour une estimation des pertes en énergie ou une évaluation des besoins en énergie.

Le dernier recensement agricole en Algérie, relatif aux moyens de traction, est celui de 2001 publié en 2003.

Tableau 30 : Tracteurs par cultures et par hectares

Spécifications	Superficie (ha)	Tracteurs < 45cv		Tracteurs > 45cv		TOTAL	
		Heures/ha	Total	Heures/ha	Total	Heures/ha	Total
Grandes Cultures (Y compris jachère)	7 618 036	16	99 951 924	6	45 708 216	20	145 660 140
Maraîchage et cultures industrielles	274 182	18	4 935 276	14	3 838 548	32	8 773 824
Arboriculture et Viticulture	540 354	-	-	16	8 645 664	16	8 645 664
TOTAL GENERAL			104 887 200		58 192 428		163 079 628
%			64,3		35,7		100

Source : (MADR and FAO, 2003)

Les besoins en tracteurs de faible puissance, inférieure à 45CV, s'élèvent à environ 105 millions d'heures, soit 64,34% des besoins totaux.

Les besoins en tracteurs de moyenne et forte puissance, supérieure à 45CV, s'élèvent à environ 58 millions d'heures, soit 35,66% des besoins totaux.

Tableau 31 : Tracteurs et leurs disponibilités par hectares et par an

Catégorie	Nombre	Disponibilités Heures/engins/an	Disponibilités totales	%
TR – 45 CV	14 209	1 200	17 050 800	15,77
TR 45/65 CV	45 768	1 200	54 921 600	50,78
TR + 65 CV	25 443	1 200	30 531 600	28,23
TC - 80 CV	7 965	480	3 823 200	3,54
TC + 80 CV	3 791	480	1 819 680	1,68
TOTAL	97 176		108 146 880	100

Source : (MADR and FAO, 2003)

Le précédent tableau résume la situation du parc tracteur disponible en 2001-2003. Selon le type de tracteur et de volume horaire, en tenant compte des jours disponibles nous remarquons des variations.

Il apparaît que :

Les tracteurs de faible puissance représentent un volume disponible d'environ 17 millions d'heures, soit 16% du volume global qui s'élève à plus de 108 millions d'heures

Les tracteurs pneumatiques totalisent près de 103 millions d'heures soit, environ 95% des disponibilités globales, tandis que les tracteurs à chenilles totalisent 5,6 millions d'heures, soit 5,22% des disponibilités globales.

Il reste bien évident que le tracteur le plus utilisé en Algérie est le CIRTA 6806 qui a été amélioré pour donner le CIRTA 6807. Le premier de cette gamme est le CIRTA 6006.

Après un double arrêt d'une part de la chaîne de production des CIRTA 4006 du CMT et des importations des tracteurs à chenille par la PMA Trading dis « chenille hamrouche » FIAT 805c, 75-80 et ceux fabriqués par le CMT CT900 de 1974 à 2003, le nombre des tracteurs CIRTA 6807 n'a cessé d'augmenter depuis 2003 date de l'établissement du recensement.

Cette augmentation soutenue de la présence du tracteur CIRTA 6807 dans les exploitations agricoles a été renforcée par des décisions politiques d'appuis aux agriculteurs et aux investisseurs agricoles à travers un certain nombre de programme de développement.

Les conditions socio-économiques des agriculteurs et professionnels de l'agriculture algérienne ont fortement influencés cette forte consommation du tracteur CIRT A 6807. Par conséquence, la domination du CIRT A 6807 dans les exploitations agricoles et même en dehors (BTP, Transports, pouvoirs publique, Etc...) est d'actualité et toujours soutenue.

Le PMA Traiding étant le distributeur exclusif de l'ETRAG ex CMT avait aussi procédé à l'importation des tracteurs à chenilles FIAT et du tracteur pneumatique UMT 140 cv dont les quantités introduites dans les exploitations agricoles sont inconnues.

Pour la base de données de notre programme informatique nous avons utilisé les Tracteurs de la PMA Traiding, CIRT A et Massey Fergusson. Ces tracteurs ont les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau 32 : Force de traction PMA T

Tracteurs	Puissances	Consommation horaire	Poids
CIRT A 6807 2x4	68 cv/49kw	10,6	2550 Kg
MF 415 2x4 et 4x4	46CV/34,3kw	-	2030 Kg
MF 440 XTRA 2x4 et 4x4	82 CV	-	3040 Kg
MF 7150 4x4	150 CV	-	-

Source : ("Partenariat | ETRAG – Entreprise TRacteurs AGRicoles," 2015.)

Historiquement la production nationale de tracteur par période d'année et par quantité est représentée dans le tableau qui suit : ("Historique | ETRAG – Entreprise TRacteurs AGRicoles," n.d.)

Tableau 33 : Tracteurs fabriqués en Algérie (périodes et quantités)

Modèle tracteur CIRT A	Puissance CV / kw	Période de production	Nombre de tracteur Fabriqué
C4006	45/32	1974 – 1983	2 420
C6006	62/45	1974 – 2003	52 281
C6806	68/49	-	-
C6807	68/49	1998 à ce jour	53 014
Chenille CT 900	-	1974 – 2003	205
CX 100	100/74	2001 – 2013	263
CX 3.70	70/51	2003 -2010	32

Source : ("Partenariat | ETRAG – Entreprise TRacteurs AGRicoles," 2015.)

ETRAG ex CMT a fortement contribué à la mécanisation de l'agriculture algérienne par la mise à disposition de plus de 112 000 tracteurs agricoles.

Connaissant les quantités de la production nationale par type de tracteur, nous pouvons comparer les résultats des évaluations de l'effort de résistance à la traction par le programme information à cette disponibilité de tracteur.

13.3. Les Machines Agricoles

Notre observation est surtout orientée vers les machines de travail du sol de la production nationale. Vue leurs disponibilités dans les exploitations agricoles d'une part à cause de l'aide et des financements octroyés par l'état et d'autre part pour favoriser la production nationale. L'entreprise ATC en partenariat avec ETRAG, assure la fabrication de matériels aratoires comme les charrue à socs et à disques, ainsi que les outils à dents pour les tracteurs de puissances variant de 45 à 84 CV. Dans ce qui suit, seront définies les machines les plus utilisées sur les surfaces agricoles de notre pays. Pour chacune des machines nous rappellerons brièvement les objectifs et quelques caractéristiques nécessaires ou ayant un effet sur les besoins en énergie.

13.3.1. Matériel de travail du sol primaire

L'objectif principal du travail du sol primaire est de créer un volume de pores suffisant pour absorber l'eau et l'air et pour permettre une pénétration facile des racines des plantes, en ameublissant le sol dans la couche cultivable. Si le sol est retourné, la matière organique est enfouie à des niveaux profonds, les mauvaises herbes sont contrôlées et, sous certaines conditions, des particules fines de sol lessivées et des éléments nutritifs sont restaurés à la surface.

Emotter et retourner sont deux actions importantes surtout sur des sols où la prochaine culture doit être semée rapidement et où beaucoup d'opérations de labour secondaires ou pseudo labour ne pourront pas être effectuées.

Les opérations de "labour" principal doivent être effectuées sur tous les sols, notamment ceux à texture argileuse, pour chaque culture et chaque année. On distingue cinq types d'instruments associés au labour primaire :

- La charrue à socs et versoirs
- La charrue à disques

- Le cultivateur à dents et chisels
- La houe rotative

Deux caractéristiques sont à mettre en évidence ; la première est relative au mode d'action des pièces travaillantes de ces outils aratoires et leurs profondeurs et largeurs de travail.

13.3.1.1. La charrue à socs et versoirs

La charrue à versoir, également appelée charrue à socs, a été développée dans les régions d'Europe du nord et de l'ouest, en zones climatiques fraîches et humides. L'avantage principal de cet instrument réside dans le fait qu'il favorise le contrôle des adventices en les enfouissant dans le sol.

L'intensité du travail du sol est également plus élevée. Le travail avec la charrue à socs se caractérise par des sillons ouverts et un retournement du sol.

De nombreux types de charrues à socs peuvent être utilisés avec des tracteurs, mais seules les principales seront mentionnées ci-dessous:

- **Les charrues simples** sont équipées de corps de charrues qui versent le sol d'un seul côté, habituellement à droite. Ceci nécessite une méthode de labour particulière, appelée labour "face à face" ou en refendant lorsque le labour commence à partir du pourtour de la parcelle et "dos à dos" ou en adossant lorsque le labour commence au milieu de la parcelle. Le labour est dit à plat lorsqu'il commence à partir d'un côté de la parcelle, mais cela nécessite un autre type de charrue cité ci-dessous.

- **Les charrues réversibles** possèdent deux corps montés de façon symétrique qui sont mis successivement en service par rotation de 180 degrés du bâti autour d'un axe longitudinal. Cet arrangement permet de tourner les sillons du même côté du champ bien que la charrue avance dans des sens opposés. Les corps de charrue peuvent tourner ou pivoter mécaniquement ou hydrauliquement. Si la charrue est correctement ajustée, la surface du sol est presque nivelée, ce qui est très important pour l'irrigation et le drainage ainsi que pour la suite des opérations de préparation du sol lors du pseudo -labours.

On rencontre différents systèmes d'attelages de la charrue au tracteur.

- **Les charrues traînées** qui sont équipées de roues pour contrôler la profondeur de travail. Ces charrues ne sont pas reliées au relevage hydraulique du tracteur mais à la barre de traction. Elles n'ajoutent donc qu'un faible poids additionnel sur l'essieu arrière du tracteur. Il est facile et rapide d'atteler et de dételéler mais elles ne peuvent être transportées (aller et retour au champ) qu'à faible vitesse.

De nos jours ces charrues ne sont plus fabriquées car tous les tracteurs sont équipés d'un relevage hydraulique et sont de plus en plus puissants.

- **Des charrues portées** avec plusieurs corps, sont généralement fixées au système d'attelage trois points du tracteur. Des systèmes de liaison rapide peuvent convenir. La charrue n'est jamais soutenue par des roues de guéret car il y a contrôle de profondeur de labour par l'hydraulique du relevage trois points. Au cours des opérations, une grande partie des forces comprenant le poids de la charrue sont transférées sur l'essieu arrière du tracteur où il y a moins de patinage. Une force importante, environ trois fois le poids de la charrue, est nécessaire pour soulever la charrue du sol, ce qui limite le nombre de corps pour un tracteur de puissance donnée.

Plusieurs formes de socs, de versoirs et d'autres parties, comme les coutres sont disponibles en fonction des conditions spécifiques liées aux sols comme par exemple les pentes et les besoins des cultures.

Les charrues à socs ou à versoirs sont aussi classées en fonction du nombre de corps de charrue, en fonction de leurs profondeurs de travail, et de la forme des surfaces actives des corps de charrue.

Pour ce qui est des profondeurs, nous avons les labours légers, moyens et profonds ; pour ce qui est de la surface active nous citerons trois grandes catégories, les versoirs cylindriques, les versoirs hélicoïdaux et les versoirs dits mixtes.

Tenant compte de la profondeur de travail des charrues, les vitesses moyennes sont de l'ordre de 4 km / h. il existe des labours dits rapides pouvant atteindre 6 à 8 km/h, mais dans des conditions de sol très favorables.

Un corps de charrue à soc qui laboure à une profondeur moyenne de 25 cm un sol de texture franche exige en moyenne 450 daN.

Pour KHEFFACHE .Y, 1992, une charrue Bisocs nécessite 12 à 36 Kw de puissance pour une consommation de 8 à 17,85 l/h obtenue après simulation correspondant à une consommation 18 l/h dans un essai effectué à l'INA avec un tracteur C6006

13.3.1.2. La charrue à disques

La charrue à disques produit généralement une qualité de labour moins intense et différente de la charrue à socs mais qui est mieux adaptée aux conditions difficiles, telles que sols riches en racines, en pierres et autres charges. Les charrues à disques sont rarement utilisées sur des sols lourds et fortement humides, principalement pour les raisons suivantes:

- Elles ne pénètrent pas dans le sol grâce à leur poids mais ont besoin de poids supplémentaires. Ceci les rend très difficile à manipuler et risquent de créer des lissages dans le sol, ce qui est préjudiciable pour la germination et la levée.

- La poussée de côté produite par le disque ne peut être absorbée par un contre – sep passif (comme avec la charrue à socs), une roue de guide est cependant nécessaire. Pour les raisons citées ci-dessus, les charrues à disques destinées aux labours ne peuvent pas être traînées mais portées.

Les charrues à disques sont des instruments très lourds munis d'un à huit disques. La profondeur de travail est située entre 25 et 40 cm. Chaque disque est monté sur un bras avec un axe muni de roulements. Les charrues à disques simples sont fréquentes mais les charrues réversibles existent également mais en quantité plus faible.

Afin d'éviter d'avoir besoin de deux séries d'outils pour travailler le sol, comme c'est le cas avec la charrue à socs réversible, les disques sont installés sur une sous - structure et peuvent pivoter de 30 à 40 degrés. Lorsqu'on ajuste l'angle des disques, il faut également inverser la roue guide.

Pour KHEFFACHE .Y, 1992, une charrue à 3 disques exige une puissance entre 23 et 46 Kw pour une consommation estimée entre 12 et 24 l/h correspondant à 17 l/h de consommation horaire obtenue dans un essai effectué à l'INA.

13.3.1.3. Les outils à dents : le chisel

Le chisel peut être utilisé à la place des charrues à disques et à socs dans de nombreux cas, particulièrement sur des sols de faibles teneurs en eau et de couvert végétal faible. Les outils à dents comme le chisel sont généralement utilisés pour les travaux primaires sur sols secs.

Dans le cas des tractions mécaniques, des dents rigides, rigides à ressort ou flexibles, sont montées sur un châssis métallique. Elles sont maintenues sur 2 à 4 rangées espacées, par des attaches en acier soudées fixes ou des brides ajustables.

La profondeur de travail est contrôlée par les roues dites de soutien ou de profondeur, montés à l'arrière. Les dents rigides, souvent accompagnées d'un dispositif escamotable servant de protection contre les pierres, sont réalisées en acier de qualité supérieure et elles sont droites ou légèrement recourbées et angulaires afin de cisailer le sol. Des dents rigides, installées avec un plus petit angle, conviennent particulièrement pour un travail profond. Les dents flexibles, essentiellement fabriquées à partir d'un acier traité, sont aplaties et légèrement recourbées pour permettre de contourner les obstacles. Elles sont normalement moins adaptées pour un travail profond.

Les dents rigides à ressort sont installées en pivots et protégées par des ressorts en spirale.

L'utilisation de l'outil à une profondeur entre 21 et 25 cm exige un effort de traction entre 500 et 650 daN selon Kesraoui, 1985 in (Guedioura, 2001).

13.3.1.4. Les outils animés : rotoculteur

Contrairement aux outils passifs, tel que les charrues et les outils à dents comme le chisel et les cultivateurs à dents, les outils animés, comme le rotoculteur, nécessitent un tracteur avec une prise de force et conviennent particulièrement bien pour un retournement intensif du sol et de la matière organique par fraisage. Tenant compte de l'importance de la force, la capacité de travail (travail par unité de temps), limitée et le risque d'une pulvérisation excessive, les rotoculteurs sont rarement utilisés pour les cultures céréalières, particulièrement en sols battants. Ces outils sont généralement utilisés seuls pour des travaux peu profonds quand les conditions de sol s'y prêtent. Ils sont très utiles pour la réalisation d'un bon lit de semence.

13.3.2. Matériel de travail du sol secondaire

Ces instruments sont utilisés pour un travail du sol peu profond, ils complètent le travail réalisé par les charrues à socs ou à disques. Ce groupe d'outils a une fonction très importante sous les climats tropicaux et subtropicaux où ils sont généralement utilisés pour le travail primaire. Le travail secondaire souvent appelé opération de pseudo labour est réalisé par les cover-crop qui est un outil à deux rangées de disques, la première est composée de disques crénelés la seconde de disques lisses et par des outils à dents.

13.3.2.1. Outils à dents : Les cultivateurs

Les cultivateurs légers sont construits de la même façon que les chisels.

Cependant, ils sont plus légers et les dents, souvent flexibles, sont plus rapprochées. Ils peuvent être munis de socs spéciaux comme les pattes d'oie ou lames afin de combiner une pulvérisation avec un désherbage mécanique. Les cultivateurs légers sont souvent utilisés, aussi bien pour la préparation d'un lit de semences que pour le binage ou pour rompre des croûtes entre les lignes de plantes ou dans le sillon entre les billons.

Le soc d'une dent rigide qui fond le sol à une profondeur moyenne de 12,5 cm de texture franche exige en moyenne 21,25 daN. Alors qu'une dent flexible dans les mêmes conditions exige en moyenne 34,22 daN. Selon Amara, 2007.

Le cultivateur à dents nécessite 110 à 170 daN d'effort de traction pour une profondeur entre 10 et 12 cm selon Kesraoui, 1985 in (Guedioura, 2001).

13.3.2.2. Les herse

Les herse sont généralement traînées pour les opérations de travail du sol après le labour en sol léger ou après les pseudos labours sur sols plus lourds. Leur utilisation permet d'affiner la structure du lit de semence sur une faible profondeur et surtout de niveler la surface du sol.

Pour des raisons de régularité du semis, leur utilisation derrière les semoirs est également possible. Un grand nombre de types de herse est disponible, comme la herse à dents rigides ou flexibles. Il existe d'autres types de herse comme la herse alternative et la herse rotative.

KHEFFACHE .Y, 1992 obtient une consommation de 12,53 l/h pour la herse à 3 compartiment avec un tracteur C4006 nécessitant 18,5 Kw dans des essais faites à l'INA

13.3.3. Les Machines Agricoles produites en Algérie

Les machines recensées et présentées dans ce qui suit représentent les machines les plus utilisées dans les diverses activités de production végétales agricoles algériennes.

Le tableau suivant regroupe le matériel de travail su sol de fabrication nationale utilisé dans nos exploitations agricoles. L'intérêt de ce tableau est aussi de mettre en évidence certaines caractéristiques, comme le poids de la machine, la profondeur de travail, la largeur de travail, la puissance nécessaire pour leur traction, qui sont introduites dans les différents modèles de détermination de l'effort de résistance à la traction.

La dernière colonne met en remarque, les modèles appropriés ou utilisés pour la détermination de l'effort de résistance à la traction.

Tableau 34 : Machines Agricoles produites en Algérie

Machines	opérations	Poids Kg	Profondeur cm	Largeur cm	Puissance CV	Attelage	Nombre corps dents	Remarques
Charrue Réversible Hydraulique 17 "	Labour	500	35	60 à 80	80 à 100	2 et 3	2	Gorjachkin Amara
Charrue Réversible hydraulique 12'' N/G	Labour	450	-		65	-	2	Gorjachkin Amara
Charrue 12 "Portée	Labour	280	-	60	45	2	2	Gorjachkin Amara
Charrue 12 "Portée	Labour	373	-	90	65	-	3	Gorjachkin Amara
Charrue à soc Portée CS-2	Labour	210	20	60	45	1	2	Gorjachkin Amara
Charrue à soc Portée CS-3	Labour	300	30	90	65	2	3	Gorjachkin Amara
Charrue Vigneronne CV-5S	Labour	400	2cm0	190	65	1 et 3	5	Gorjachkin Amara
Charrue à disques CD-2	Labour	310	20 à 30	50 à 60	45	-	2	Gorjachkin Amara
Charrue à disques CD-3	Labour	380	20 à 30	75 à 95	65	1 et 2	3	Gorjachkin Amara

Bineuse buteuse BB-2R	Buttage	200	-	-	45	1 et 2	2 rangs	Gorjachkin Amara
Sillonneuse S-2C	-	135	20	100	45	1 et 2	2	Gorjachkin Amara
Sillonneuse S-3C	-	185	20	200	65	1 et 2	3	Gorjachkin Amara
Sillonneuse S-4C	-	240	20	300	65	1 et 2	4	Gorjachkin Amara
Déchaumeuse DC-P7	Déchaumage	380	10 à 15	105	45	1 et 2	7	GEE Clough
Déchaumeuse DC-P9	Déchaumage	480	10 à 15	135	65	1 et 2	9	GEE Clough
Déchaumeuse DC-P10	Déchaumage	530	10 à 15	150	65	1 et 2	10	GEE Clough
Pulvériseur Porté PU-P12	Reprise Labour	275	10 à 15	110	45	-	12	GEE Clough
Pulvériseur Porté PU-P14	Reprise Labour	290	10 à 15	125	65	-	14	GEE Clough
Pulvériseur Porté PU-P16	Reprise Labour	310	10 à 15	140	65	-	16	GEE Clough
Pulvériseur Porté 8X16	Reprise Labour	400	10 à 15	180	65	-	16	GEE Clough
Pulvériseur Trainé PU-T16	R L	810	10 à 15	180	45	-	16	GEE Clough
Pulvériseur Trainé PU-T20	R L	920	10 à 15	180	45	-	20	GEE Clough
Pulvériseur Trainé PU-T24	R L	1170	10 à 15	225	60	-	24	GEE Clough
Pulvériseur Trainé PU-T28	R L	1250	10 à 15	-	70	-	28	GEE Clough
Pulvériseur Trainé PU-T32	R L	1320	10 à 15	270	82	-	32	GEE Clough
Pulvériseur Auto porte PU.AP24	R L	1800	10 à 15	270	80	-	24	GEE Clough
Pulvériseur Auto porte PU.AP28	R L	2000	10 à 15	315	80	-	28	GEE Clough
Pulvériseur Auto porte PU.AP32	R L	2200	10 à 15	360	100	-	32	GEE Clough

SOUS SOLEUSE	Défoncement	500	60 à 70	200	80	-	5	Binesse Boubrit
CHISEL 5D	Pseudo labour	280	25 à 30	200	70	-	5	Binesse Boubrit
CHISEL 7D	Pseudo labour	295	25 à 30	300	80	-	7	Binesse Boubrit
Cultivateur CL-7D	Travail sup	250	18 à 20	175	45	1 et 2	7	Binesse Boubrite
Cultivateur CL-17D	Travail sup	750	18 à 20	400	80	1 et 2	17	Binesse Boubrite
Cultivateur 17 D	Travail sup	650	15	420	80	-	17	Binesse Boubrite
Roto-herse RH-3E	Travail sup	400	-	300	45	2	-	-
Rouleau Lisse RL-1E	Travail sup	470	-	200	35	-	-	-
Rouleau Lisse RL-3E	Travail sup	1800	-	600	65	-	-	-
Rouleau Croskill RC-1 E	Travail sup	700	-	190	35	-	-	-
Rouleau Croskill RC-3 E	Travail sup	2200	-	570	65	-	-	-

Source : (L'EPE-MAGI and ex (SONACOME, 2015)

Nous avons donc consigné dans ce tableau les paramètres indispensables à l'évaluation de l'effort de résistance à la traction utilisables par le programme informatique et permettant ainsi de constituer un élément de départ de la base de données.

Dans ce qui suit certains paramètres de ces machines agricoles doivent être connus pour compléter des informations nécessaires au choix des outils aratoires. Certaines caractéristiques mentionnées pour les machines agricoles ci-dessous, sont indiquées à titre d'information uniquement, mais ne sont pas exploitées pour l'évaluation des besoins en énergie.

Charrue Réversible Hydraulique 17'' -

Caractéristiques

Type : réversible portée ; **Nombre de corps** : bisocs modulaires ; **Dégagement entre corps** : 85 cm ;
Dégagement entre pointes : 150 Cm **Largeur de travail** : 60 à 80 Cm ; **Profondeur de travail** : 35 Cm
Attelage 3 points catégorie : 2 et 3 ; **Puissance requise** : 80 à 100 CV **Poids approximatif** : 500Kg

Charrue Réversible 2 soc hydraulique 12'' N/G -

Caractéristiques

Type : portée **Nombre de corps** : bisocs **Dégagement sous-bâti** : 80 cm ; **Dégagement entre corps** : 57 Cm
Dégagement entre pointes : 170 Cm ; **Puissance requise** : 65 CV **Poids approximatif** : 450Kg

Charrue 3 Socs 12 "Portée -

Caractéristiques

Type : charrue 2/3 socs portés, **Nombre de corps**: 2/3, **Dégagement entre corps** : 760 mm
Dégagement entre sous bâti : 670 mm, **Largeur de travail** : 600/900 mm
Attelage 3 points : catégorie II, **Puissance requise** : 45 à 65 CV, **Poids** : 280/ 373 kg

Charrue à Socs Portée -

Caractéristiques

Modèle : CS-2 CS-3 **Type** : porté 2 socs 3 socs **Largeur de travail** : 600 mm à 900 mm
Profondeur labour : 200 à 300 mm **Attelage 3 points** : CAT I CAT II **Puissance nécessaire** : 45 CV – 65 CV
Poids : 210 Kg 300 Kg

Charrue Vigneronne -

Caractéristiques

Modèle : CV- 5S **Type** : porté à socs **Largeur de travail** : 1900 mm **Profondeur travail** : 20 mm
Attelage 3 points : CAT I CAT II **Puissance** : 65 CV **Poids** : 400 Kg

Charrue à disques -

Caractéristiques

Modèle : CD- 2 CD-3 **Type** : porté 2 Disques 3 Disques **Diamètres disques** : 660 m
Largeur de travail : 500 mm à 600mm 750 à 950 mm **Profondeur labour** : 200 mm à 300 mm
Attelage 3 points : CAT I CAT II **Puissance nécessaire** : 45 CV 65 CV **Poids** : 310 Kg 380 Kg

Bineuse buteuse -

Caractéristiques

Modèle : BB-2R **Type** : Porté à socs **Nombre de rangs** : 02 **Attelage 3 points** : CAT I et CAT II
Puissance nécessaire : 45 CV **Poids** : 200 KG

Sillonneuse -

Caractéristiques

Modèle : S-2C S-3C S-4C **Type** : porté 2 à 4 corps **Largeur de travail** : 1000 mm à 2000 mm 3000 mm
Profondeur labour : 200 mm **Attelage 3 points** : CAT I CAT II **Puissance nécessaire** : 45 CV 65 CV
Poids : 135 Kg 185 Kg 240 Kg

Déchaumeuse à Palier roulement -

Caractéristiques

Modèle : DC-P7 DC-P9 DC-P10 **Type** : porté 7 à 10 Disques **Diamètres disques** : 560 m
Largeur de travail : 1050 mm 1350mm 1500 mm **Profondeur labour** : 100 mm à 150 mm
Attelage 3 points : CAT I CAT II CAT II **Puissance nécessaire** : 45 CV 65 CV
Poids : 380 Kg 480 Kg 530Kg

Pulvériseur Porté -

Caractéristiques

Modèle : PU-P12 PU-P14 PU-P16 **Type** : porté 12 à 16 disques **Largeur de travail** : 1100 mm à 1250 mm
1400mm **Diamètre disques** : 560 mm lissés et crénelés **Profondeur travail** : 100 à 150 mm
Puissance nécessaire : 45 CV 65 CV **Poids** : 275 Kg 290 Kg 310 Kg

Pulvériseur 8x16 porte -

Caractéristiques

Type : porté.

Nombre de disque : 16 (8 lisses et 8 crénelés). **Dimension des disques** : 560 mm.

Distance entre disques : 230 mm. **Profondeur de travail** : 10 à 15 cm. **Largeur de travail** : 1800 mm.

Attelage 3 point catégorie 2. Puissance requise : 65 CV. **Poids approximative** : 400 Kg

Pulvériseur Trainé -

Caractéristiques

Modèle : PU-T16 PU-T20 PU-T24 PU-T28 PU-T32

Type : trainé 16 à 32 Disques **Diamètres disques** : 610 mm lissés et crénelés **Largeur de travail** : 1800 mm

2250mm 2700 mm **Profondeur labour** : 100 mm à 150 mm **Puissance nécessaire** : 45 CV 60 CV 70 CV 82

CV **Poids** : 810 Kg 920Kg 1170Kg 1250kg 1320kg

Pulvériseur Auto porte -

Caractéristiques

Modèle : PU.AP24/PU.AP28/PU.AP32 **Type** : trainé **Nombre de disque** : 24,28 et 32 disques.

Dimension des disques : 610 mm. **Distance entre disques** : 225 mm. **Profondeur de travail** : 10 à 15 Cm.

Largeur de travail : 2700 mm, 3150 mm, 3600 mm. **Puissance requise** : 80 CV/80 CV/100 CV.

Poids approximative : 1800 Kg, 2000 Kg, 2200 Kg

Sous-soleuse (5 Dents) -

Caractéristiques

Type : portée. **Nombre de dents** : 5 dents. **Largeur de travail** : 2 m. **Profondeur de travail** : 60-70 cm.

Dégagement sous bâti : 630 mm. **Distance entre dents** : 400 mm. **Poids approximative** : 500 Kg.

Puissance requise : 80 CV.

Chisel (5 et 7 Dents) -

Caractéristiques

Type : porté. **Nombre de dents** : 5 et 7 dents. **Largeur de travail** : 2 et 3 m. **Profondeur de travail** : 25-30 cm (suivant type de sol). **Dégagement sous bâti** : 630 mm. **Distance entre dents** : 450 mm.

Type de dent : semi-flexible. **Poids approximative** : 280 et 295 Kg. **Puissance requise** : 70/80 CV.

Cultivateur -

Caractéristiques

Modèle : CL-7D à CL 17D **Type** : porté 7 à 17 dents **Largeur de travail** : 1750 mm à 4000 mm

Profondeur labour : 180 mm à 200 mm **Dents à sécurité non-stop**. **Attelage** : CAT I CAT II

Puissance nécessaire : 45 CV à 80 CV **Poids** : 250 Kg à 750 Kg

Cultivateur 17 dents -

Caractéristiques

Type : Porté **Nombre de dents** : 17 dents. **Largeur de travail** : 4,2m. **Profondeur de travail** : 15 cm

Dégagement sous bâti : 530 mm. **Distance entre dents** : 250 mm. **Type de dent** : semi-flexible.

Poids approximatif : 650 Kg. **Puissance requise** : 80 CV.

Roto herse -

Caractéristiques

Modèle : RH – 3 E **Type** : Porté **Largeur de travail** : 3000 mm **Rouleau denté** : 300 mm

Attelage : CAT II **Puissance nécessaire** : 45 CV **Poids** : 400 KG

Rouleau Lisse -

Caractéristiques

Modèle : RL-1E RL-3^E **Type** : traîne **Largeur de travail** : 2000 mm à 6000 mm **Puissance requise** : 35 et 65 CV **Poids** : 470 Kg et 1800

Rouleau Croskill -

Caractéristiques

Modèle : RC-1E RC-3^E **Type :** traine **Diamètre de disque :** 450 mm 560 mm

Largeur de travail : 1900 mm à 5700 mm **Puissance requise :** 35 et 65 CV **Poids :** 700 et 2200 Kg

Ces différentes caractéristiques représentent un minimum d'informations pour un équipement d'une exploitation donnée dans une région donnée et pour une spéculation donnée.

13.4. Conclusion

Toutes les caractéristiques mentionnées précédemment, sont autant d'informations nécessaires pour la mise en place d'une stratégie de mécanisation des premières étapes de la mise en place des grandes cultures.

Les différents paramètres caractérisant soit le sol ou les machines agricoles sont des facteurs intervenant directement ou indirectement sur les besoins en énergie.

Paramètres relatifs aux conditions de travail

- Technicité des opérateurs
- Conditions climatiques
- Vitesses d'avancement des agrégats agricoles

Paramètres relatifs au sol

- Texture
- Etat structural initial
- Porosité
- Masse volumique sèche
- Profondeur de la couche arable
- Humidité du sol

Paramètres relatifs aux tracteurs

- Puissance
- Nombre de roues motrices
- Etat mécanique

Paramètres relatifs aux machines agricoles.

- Largeur de travail
- Nombre de pièces travaillantes
- Poids de la machine
- Type d'attelage au tracteur

Pour les objectifs de notre travail qui consiste en la conception d'un programme informatique permettant d'évaluer avec précision les besoins en énergie pour la mise en place des grandes cultures au niveau national, les équipements choisis sont ceux fabriqués ou fréquemment utilisés en Algérie.

D'après les données précédemment cités le tracteur le plus utilisé en Algérie est le CIRTA 6807 ainsi que la charrue à soc ENPMA, le Cover Crop 16 (8x8) et le cultivateur à dents (11D).

Ces choix reposent aussi sur la disponibilité d'informations concernant l'utilisation de ces machines agricoles pour une évaluation de l'effort de résistance à la traction par les modèles de calculs.

Chapitre 14 : Séquence de traitement de la bande de terre

14.1. Introduction

Le travail du sol doit jouer un rôle important sur son évolution et sur ses propriétés, tant physico-chimiques que mécaniques, qui doivent offrir à la culture, un milieu favorable à son développement.

Pour cela les choix des moments d'intervention et surtout des moyens matériels à mettre en œuvre doivent être définis en fonction de l'état initial du sol et de ses caractéristiques physicomécaniques ainsi que des exigences de la culture à mettre en place et surtout des objectifs recherchés.

Le choix de la forme des pièces travaillantes des outils aratoires, principalement de la forme des surfaces actives des corps de charrue à socs et des socs de cultivateurs à dents, doit faire l'objet d'une attention particulière, soit de la part de l'utilisateur, c'est-à-dire l'agronome ou l'agriculteur ou de la part du concepteur ou fabricant des outils aratoires.

14.2. Approche comparée du machiniste et de l'agronome quant à l'étude du travail du sol.

La préparation du sol pour la mise en place d'une culture est une préoccupation commune du machiniste et de l'agronome mais la vision de chacun est différente. La préoccupation commune réside dans le fait que l'objectif agronomique est le même, à savoir mettre la semence dans des conditions adéquates pour sa germination et son développement jusqu'à maturation. Outre ceci le machiniste doit s'intéresser au côté économique et ergonomique.

Le machiniste doit concevoir ou proposer une forme d'outil aratoire en relation avec l'état initial du sol qui est avant tout un système générateur de forces résistantes vis-à-vis de l'outil en recherchant à minimiser les besoins énergétiques pour la mise en place d'une culture.

L'état physique du sol résulte de l'interaction entre ses propriétés intrinsèques et les différents facteurs extérieurs, d'ordre physique ou mécanique. De ces derniers relèvent les problèmes de travail du sol.(Amara, 2007)

Il s'agit d'une restructuration d'un état initial du sol laissé par une culture précédente pour le rendre apte à une culture suivante. Cela doit être réalisé au cours d'une période définie et dans les meilleures conditions économiques possibles, c'est l'objectif principal du travail du sol.(Amara, 2007)

Le terrain, au départ peut être caractérisé par son état structural qui est très souvent compact, derrière une culture récoltée en conditions humides ; ou trop meuble, derrière une culture sarclée, par exemple la pomme de terre. Parallèlement, il convient de définir l'état du terrain susceptible de fournir le meilleur support à la culture qu'on se propose d'implanter.

Cela revient à faire la synthèse des exigences de la culture à ces différents stades : germination, levée, enracinement et récolte. Ces exigences sont fréquemment contradictoires ; aussi, le choix de l'objectif procède-t-il nécessairement d'un compromis, qui, de plus, doit tenir compte du climat le plus probable et des risques comportementaux particuliers attachés à la culture considérée.(Amara, 2007)

Connaissant la situation de départ et l'objectif recherché, le dernier volet du programme de mise en place d'une culture, consiste à passer de l'un à l'autre dans les meilleures conditions possibles de rapidité et de prix de revient. Pour cela, on dispose de la contribution éventuelle des facteurs naturels (régularité des pluies et de sécheresse) et de toute une gamme d'interventions mécaniques : labour, pseudo-labour, tassement par roulage et par le passage des différentes machines agricoles.(Amara, 2007)

La succession des opérations culturales est déterminée en tenant compte à la fois, des actions spécifiques de chacune d'elles et des caractéristiques mécaniques initiales du sol. Ces dernières telles que la cohésion, la plasticité, l'adhésivité du sol aux outils, compactibilité, sont étroitement liées à la texture du sol et à son humidité au moment de l'intervention. De ce fait, il est extrêmement difficile de définir à priori la succession d'opérations culturales optimales pour une culture donnée. Les possibilités de trouver le sol en bonnes conditions de travail sont suffisamment rares pour que se développent des techniques de non travail du sol, rendues possibles par les progrès réalisés dans le domaine de la conception de nouvelles machines et des herbicides. Tenant compte des objectifs du travail du sol, la connaissance des modes d'action des différents outils aratoires est nécessaire.(Amara, 2007)

14.3. Mode d'action d'un outil de travail du sol

Les travaux de Ros V. et al, (1995) soulignent qu'une description mathématique du processus de l'action d'un outil aratoire sur le sol ne peut être complète que si tous les éléments de ce processus sont exprimés dans un sens quantitatif. Pour cela ces deux auteurs proposent un modèle fonctionnel intéressant de l'interface sol-outil aratoire que Amara, 2007 a complété pour plus de clarté en ajoutant les caractéristiques influençant le processus du travail du sol.

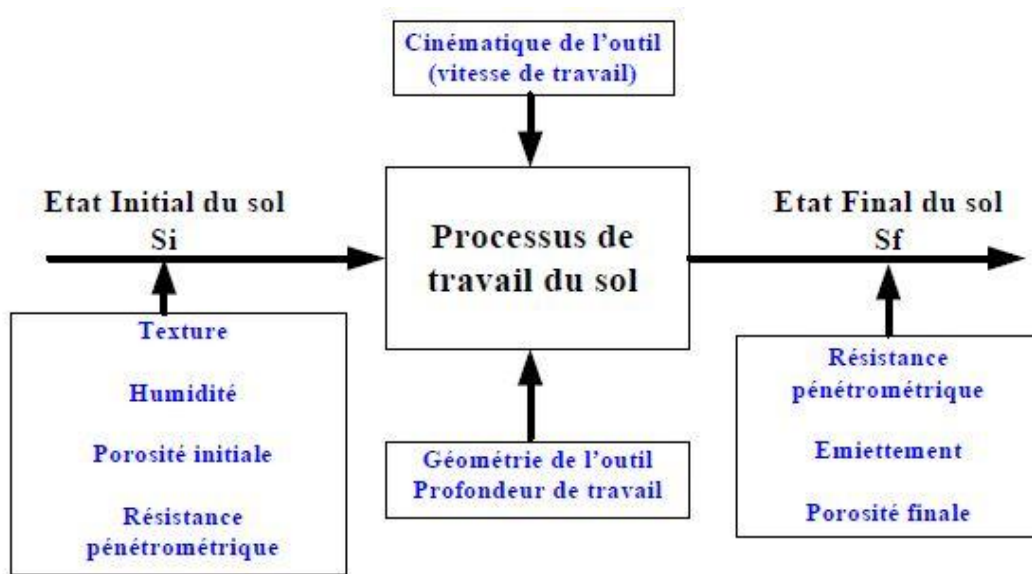


Figure 11 : Modèle général du processus de travail du sol. (Amara, 2007)

Ce schéma est affecté de la relation :

$$S_f = f(S_i, W)$$

Où S_i : Etat initial du sol

S_f : Etat final du sol

W : Energie appliquée au sol

L'énergie appliquée au sol (W) peut être exprimée par une autre relation qui est :

$$W = \varphi(G_T, M, S_i)$$

Où G_T : Caractéristiques géométriques de la pièce travaillante

M : Cinématique de l'outil

La relation initiale devient alors:

$$S_f = f(S_i, G_T, M)$$

Pour plus de précisions, Ros et Smith proposent pour chacune de ces fonctions les paramètres suivants.

$$S_i = f_1(P_b, P_s, P_w, C, A, \mu, \mu', w, E, \tau, \sigma_t)$$

$$M = f_2(V_m, \omega)$$

$$G_T = f_3(G_1, G_2, G_3)$$

où :

S_i : L'état initial du sol est défini par les paramètres suivants

P_b : Densité apparente du sol

P_s : Densité réelle du sol

P_w : Teneur en eau du sol

C : Cohésion du sol

A : Adhésion du sol à l'outil

μ : Coefficient de frottement sol – outil

μ' : Coefficient de frottement interne du sol

w : Humidité du sol

E : Module d'élasticité du sol (Module de Young)

τ : Contrainte de cisaillement dans le sol

σ_t : Contraintes normales dans le sol

La cinématique de l'outil est définie par :

V_m : Vitesse d'avancement de l'outil dans le sol pour les outils passifs

ω : Vitesse de rotation pour les outils animés

La géométrie de l'outil ou plus précisément de la pièce travaillante est définie par :

G_1 : Macro géométrie de l'outil définie par la forme générale de la surface active et ses différentes longueurs telle que la hauteur, la largeur de travail

G_2 : Micro géométrie de la pièce travaillante caractérisant la régularité de la surface active du point de vue finition, les surfaces actives doivent avoir une surface la plus lisse possible pour limiter les forces de frottement sol – outil.

G_3 : Caractéristiques angulaires comme entre autres, les angles d'affûtage, les angles d'attaque, les angles d'entrure, les angles de coupe

La connaissance des caractéristiques physico – mécaniques du sol au moment de l'intervention mécanique est donc un élément de base pour la compréhension du mode d'action d'un outil aratoire. Cela permettra également de prévoir correctement l'état structural final du sol par un choix judicieux de la forme des outils aratoires et surtout des versoirs des corps de charrue à socs à utiliser dans le cas des labours.

Si l'état initial du sol a une importance sur les indices qualitatifs, son effet est d'autant plus important sur les indices énergétiques quantifiés par l'effort de résistance à la traction. Il est cependant nécessaire de prendre en considération l'anisotropie du sol et surtout sa variabilité spatiale. Outre ceci, les conditions de travail telles que la profondeur, la largeur et la vitesse de travail ont également leur importance sur les indices énergétiques.

Le mode d'action d'un outil sur le sol ainsi que l'effort nécessaire à cette action sont conditionnés par la forme géométrique de sa surface active ainsi que des conditions de travail comme la vitesse d'avancement et l'état initial du sol.

Enfin, le modèle fonctionnel proposé par ces auteurs est un élément de base pour toute conception de nouvelles formes de pièces travaillantes et pour toute analyse du système de forces agissant sur toutes les pièces travaillantes des outils aratoires en générale et plus particulièrement pour les corps de charrue à socs. Ces remarques sont aussi valables pour toutes les formes de pièces travaillantes utilisées pour la préparation du sol et ce du labour aux travaux superficiels.

14.4. Séquences de traitement d'une bande de terre

Pour des besoins de compréhension et dans le but de conception d'un programme informatique, nous proposons une nouvelle approche sur la façon d'aborder le système de travail du sol dans ses différentes phases. Dans cette approche il s'agit de schématiser le mode d'action sur le sol des différentes formes de pièces travaillantes des outils aratoires ; comme le soc et le versoir pour les charrues à soc, les disques pour les charrues à disques et les socs des outils à dents.

14.4.1. Introduction

Il faut remarquer qu'il existe dans le processus de travail du sol ce que nous appellerons des séquences de traitement du sol. Cette action de l'outil sur le sol se fait sur des longueurs. Chaque longueur est une séquence de traitement de la bande de terre.

Chaque type d'outils de travail du sol associé aux besoins culturaux s'exprime par une séquence caractérisée. Cette caractérisation de la séquence de traitement de la bande de terre est aussi définie par le mode d'action des outils aratoires. Par exemple la charrue à socs possède un mode opératoire totalement différent du mode opératoire d'un chisel. Le premier provoque un retournement de la bande de terre alors que le second fend le sol et provoque des fissurations dans la séquence travaillée.

14.4.2. Caractérisation de la séquence de traitement

Travailler une parcelle (une surface définie) implique une somme de séquence de traitement de la bande de terre qui possède certaines caractéristiques (sens, longueur, section).

$$W_s = \sum_1^n S_q$$

W_s : Travail du sol d'une parcelle

S_q : Séquence de traitement d'une bande de terre

n : nombre de séquence de traitement de la parcelle

Qu'es ce qu'une séquence de traitement de la bande de terre ?

Le schéma suivant illustre la structure d'une séquence de traitement d'une bande de terre.

séquence de traitement d'une bande de sol agricole

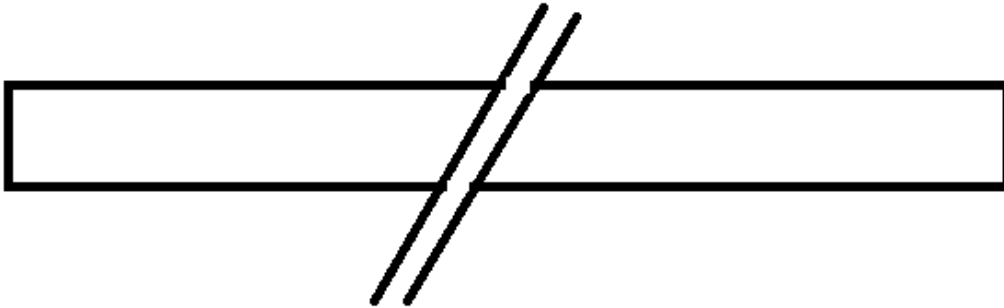


Figure 12 : Séquence de traitement de la bande de terre

Le processus de travail du sol exprimé par la séquence de traitement de la bande de terre est défini comme étant le résultat de l'action de l'outil par un effort de traction sur une fraction du sol résistant à l'action de l'outil par un effort de résistance à cette traction sur une longueur avec des caractéristiques géométriques et mécaniques définies.

Une séquence de traitement de la bande de terre est une somme des efforts de traction élémentaire nécessaire pour traiter une longueur (Séquence).

$$S_q = \sum_0^L F_{t_e}$$

S_q : Séquence de traitement de la bande de terre

$F_t = F_{t_e}$: Effort de traction élémentaire

L : Longueur de la séquence de traitement

La séquence de traitement d'une bande de terre se décompose en trois phases : Phase 1 : début de la séquence de traitement de la bande de terre,

Phase 2 : traitement de la bande de terre ou Séquence de traitement de la bande de terre,

Phase 3 : fin de la séquence de traitement.

Un schéma permettra d'illustrer ces trois phases et met en évidence une caractéristique de la séquence de traitement de la bande de terre qui est le sens de la séquence de traitement.

Avoir une phase début de traitement et une phase fin de traitement impose un sens à la séquence de traitement. Il est pratiquement impossible d'ignorer le sens d'avancement de la machine puisque il définit le sens de la séquence de traitement de la bande de terre.

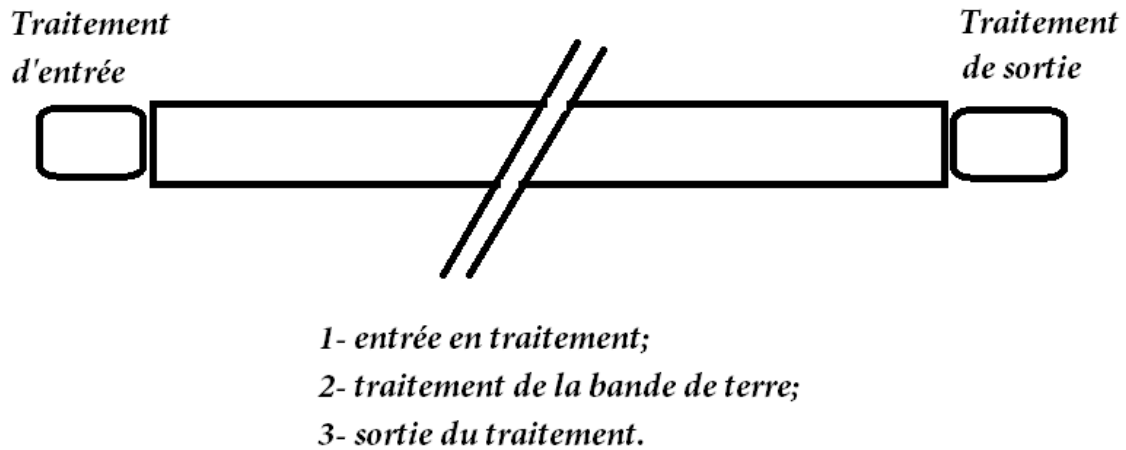


Figure 13 : Les Trois Phases de la Séquence de traitement d'une bande de terre.

La phase **entrée en traitement** : est une phase de début de travail. Dans cette phase l'outil de travail du sol fait un mouvement composé, pénétration dans le sol et avancement dans la séquence.

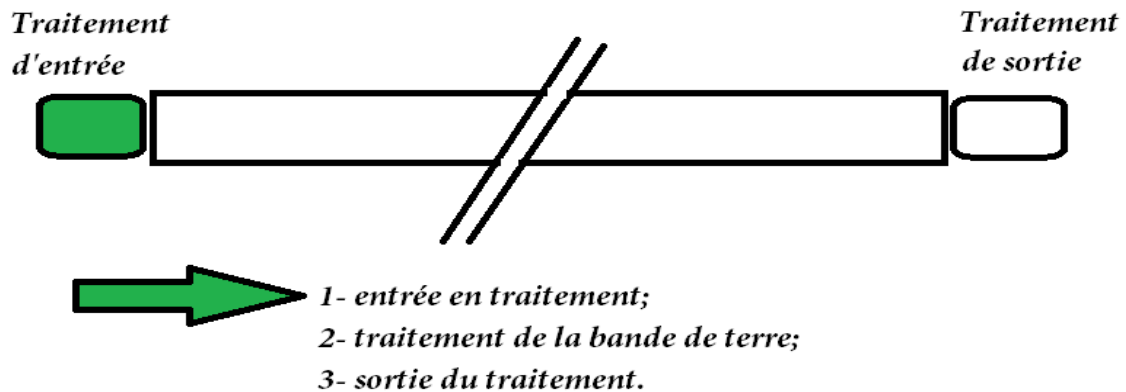


Figure 14 : Début de la séquence de traitement de la bande de terre

La pénétration dans le sol de l'outil passe d'un niveau profondeur égale à zéro vers un niveau profondeur égale à « a » tout en avançant.

Ce qui signifie que l'entrée en traitement de chaque séquence de traitement de la bande de terre se fait avec une variation constante de la profondeur de travail pour atteindre la profondeur objectif.

L'effort de résistance à la traction dans cette phase de la séquence de traitement d'une bande de terre est fonction de la profondeur de travail (a)

$$F_t = f(a)$$

L'expression de l'effort de résistance à la traction du travail du sol dans la phase début de traitement de la bande de terre est comme suit :

Équation (19) : F_t en phase entré en traitement

$$F_t = \sum_{a=0}^a F_{t_a}$$

Cette phase début de la séquence de traitement de la bande de terre nous permet d'observer trois particularités.

La première particularité consiste en une accélération de l'ensemble tracteur-outil de travail du sol dans la partie début de traitement de la séquence, l'ensemble démarre avec une vitesse égale à zéro pour atteindre la vitesse de travail définie par les besoins agronomiques de préparation du sol pour la mise en place de la culture.

La seconde est un ralentissement de l'ensemble tracteur-outil de travail du sol lorsque l'outil débute la séquence de traitement avec une vitesse initiale égale à la vitesse de travail prédéfinie. Cette perte de vitesse est provoquée par la force de résistance qu'oppose le sol à l'avancé de l'outil. La résistance du sol augmente avec l'augmentation de l'effort de résistance à la traction comme déjà expliqué dans l'équation 19.

La troisième particularité est une augmentation systématique du régime du moteur dans le cas d'accélération ou bien de ralentissement, puisque dans les deux situations il y a un début de résistance à la traction qui exprime le début de la séquence de traitement de la bande de terre.

La phase **Traitement** : tous les travaux sur les interactions outil-sol publiés par les différents auteurs entre autre (Amara, 2007) présentent la bande de terre et ses caractéristiques. Les caractéristiques de la bande de terre représentent ceux de la séquence de traitement de cette dernière. Ces caractéristiques sont en partie liées aux formes géométriques des outils utilisés lors des travaux du sol exemple des charrues qui sont des outils complexes et d'autre part aux propriétés intrinsèques du sol de la séquence de traitement de cette bande de terre

Pour ce qui est des outils à dents (outils à lames simples), leurs caractéristiques géométriques ne correspondent pas aux caractéristiques de la séquence de traitement. Le dimensionnement de la séquence de traitement pour les outils à dents diffère de celui des outils à versoirs et des outils à disques.

Pour pouvoir caractériser la séquence de traitement d'une bande de sol sous l'action d'un outil à dents il faut s'intéresser au fendillement ou ouverture du sol à l'avant du soc. Les dimensions de ces ouvertures sont fonction des caractéristiques du sol et de la forme de l'outil.

Déjà en 1983, un certain nombre d'auteurs ont décrit le déplacement de la dent dans le sol. Des descriptions faites par (Guedioura, 2001), (Amara and Guedioura, 2013) et (Badouna and Amara, 2015), nous proposons une figure dans laquelle nous essayons de schématiser la séquence de traitement pour une dent.

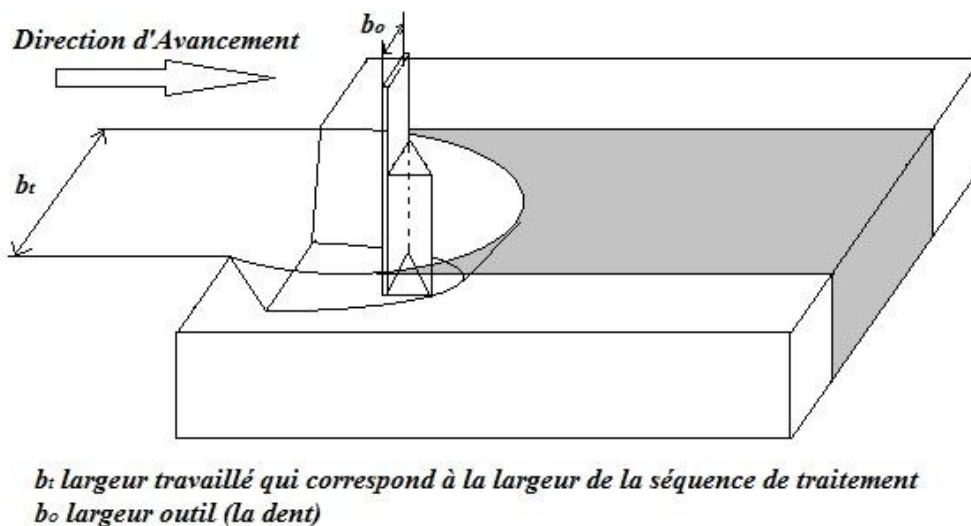


Figure 17 : Séquence de traitement d'une bande de terre pour une dent

La géométrie des outils à dents est différente de la géométrie de la séquence de traitement que nous essaierons de développer par la suite.

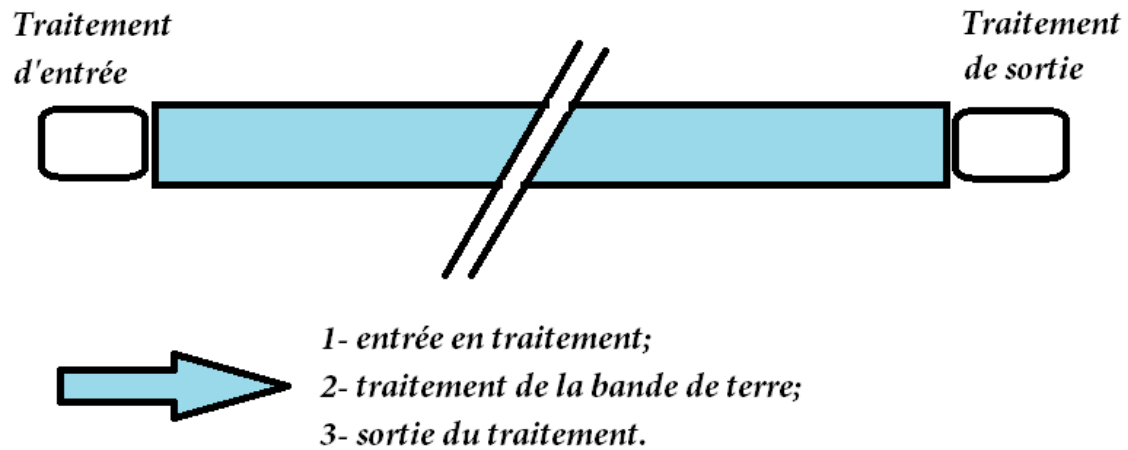


Figure 18 : Phase Traitement de la bande de terre

Dans la phase traitement de la bande de terre, nous supposons que la profondeur de travail du sol est constante sur toute la longueur ainsi que la durée du traitement de la bande de terre. La profondeur étant constante l'effort de résistance à la traction est constant toute la durée de la phase. La phase traitement est aussi caractérisée par une constance de la vitesse de traitement et une constance du régime moteur source de l'effort de traction.

Toutefois, connaissant les conditions réelles de travail du sol une précision s'impose. Il existe toujours des fluctuations (des variations) de la profondeur, de la largeur et de la vitesse de travail de la bande de terre. Exprimé respectivement par Δa , Δb et Δv . Ces variations ont des origines différentes (Amara, 2009). Ceux liées à l'hétérogénéité des conditions physiques et mécaniques de la séquence de traitement de la bande de terre, à la qualité des réglages des outils de travail en action lors de la séquence de traitement de la bande de terre et à la qualité topographique de la séquence de traitement.

La phase **sortie du traitement** : la phase sortie du traitement l'outil de travail du sol est soumis à un mouvement composé. L'avancement de l'outil dans sa phase de sortie est accompagné d'une variation régulière de la profondeur de traitement. La sortie de la séquence de traitement est faite avec une diminution de la profondeur de traitement de la bande de terre (profondeur de travail du sol). Cette dernière est accompagnée d'une diminution progressive de l'effort de résistance à la traction.

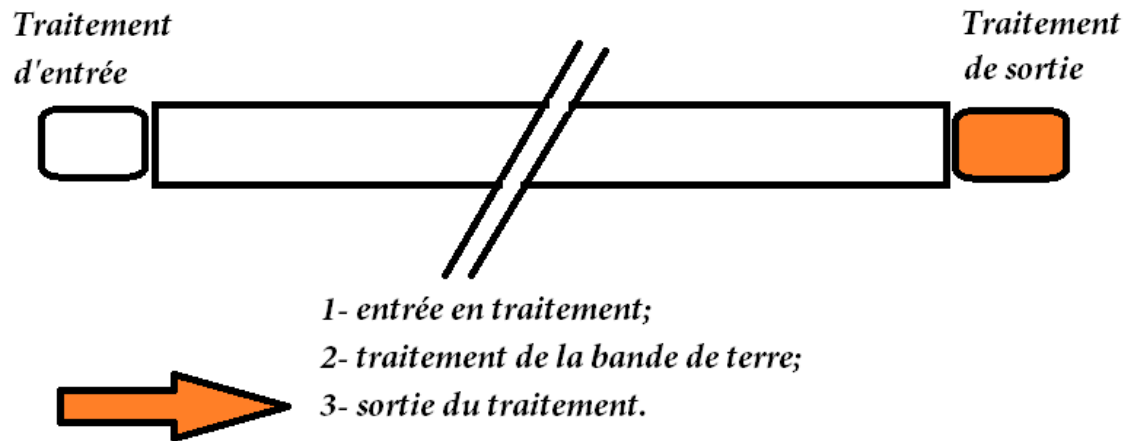


Figure 19 : La Phase de sortie du traitement de la bande de terre

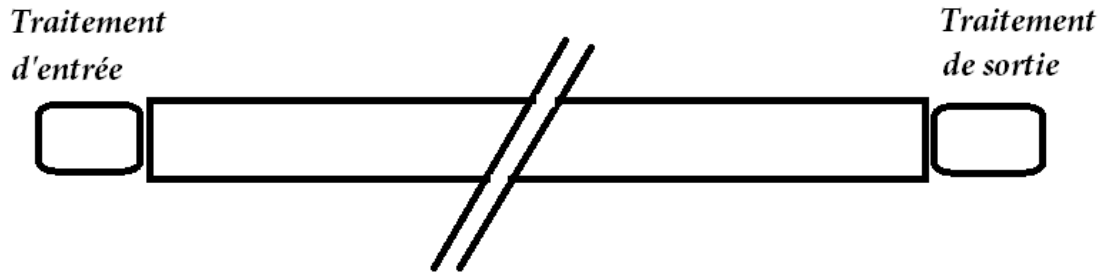
Nous pouvons dire aussi que la variation (diminution) de la profondeur lors de la sortie de l'outil du sol qui note la phase finale de la séquence de traitement de la bande de terre est en pratique un passage de l'outil du niveau profondeur du traitement de la bande de terre égale à « a » vers un niveau de la profondeur de traitement de la bande de terre égale à zéro.

Il faut noter que la profondeur de travail du sol qui correspond généralement à la profondeur de la séquence de traitement de la bande de terre, quel que soit le type d'outil utilisé lors de la séquence de traitement, est fixer par les besoins et les exigences Agro-techniques. Englobant les exigences variétales, les caractéristiques des outils et la technique de travail du sol choisis.

14.4.3. Représentation de de la séquence de traitement de la bande de terre

La Représentation bidimensionnel d'une séquence de traitement de la bande de terre doit évoluer pour présenter clairement et explicitement les trois phases précédemment définies.

séquence de traitement d'une bande de sol agricole



différences observées entre les phases lors d'une séquence de traitement de la bande de terre agricole lors d'un travail du sol.

Nous impose une représentation plus approprié selon le schéma suivant :



Figure 20 : Représentation de côte bidimensionnelle de la Séquence de Traitement de la Bande de Terre

Cette représentation bidimensionnelle de la séquence de traitement de la bande de terre pour un travail du sol donnée reste incomplète. Les seules caractéristiques géométriques de la séquence de traitement de la bande de terre qui peuvent être représentés avec les phases de la séquence de traitement sont la profondeur et la longueur de cette séquence.

Pour une représentation complète des paramètres d'une séquence de traitement de la bande de terre et pour plus de précision, on a proposé une représentation tridimensionnelle de la séquence de traitement de la bande de terre. Nous avons défini les phases d'une séquence de traitement de la bande de terre.

14.4.4. Dénomination des phases de la séquence de traitement de la bande de terre

Les trois phases peuvent avoir chacune des nominations différentes que nous avons illustrées dans la figure suivante

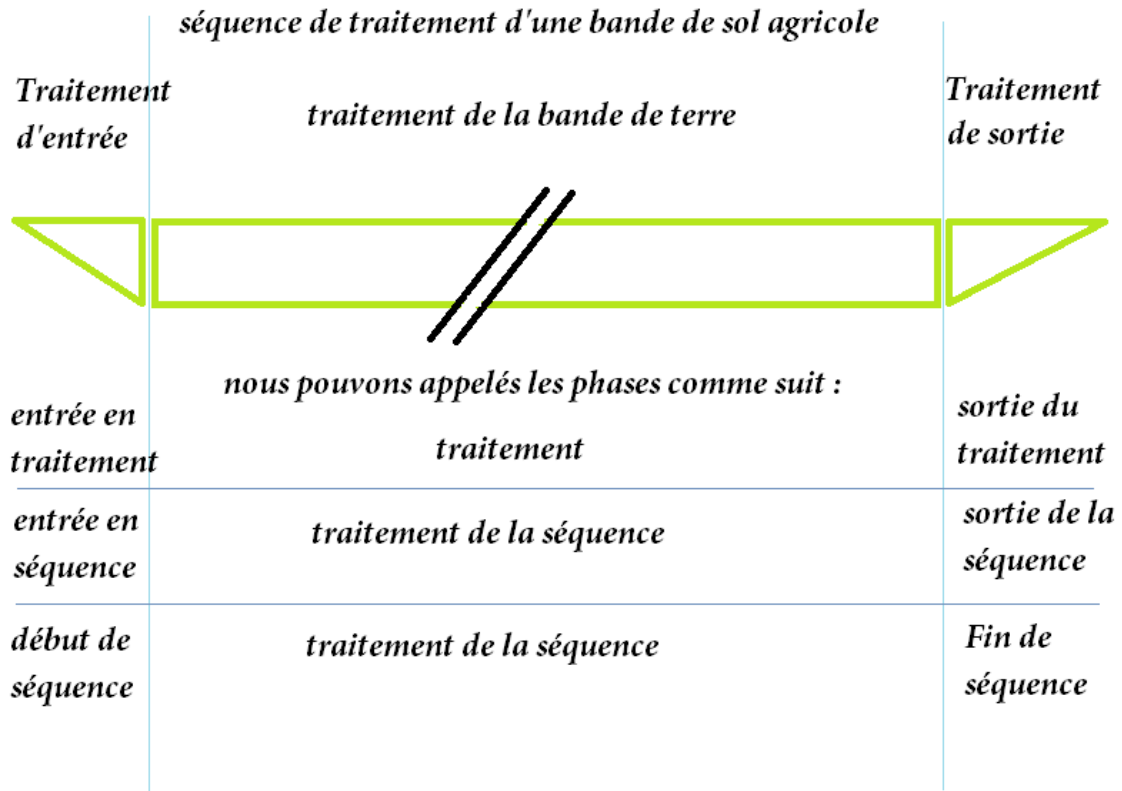


Figure 21 : Dénomination des Phases d'une Séquence de Traitement de la Bande de Terre.

Les dénominations recensées pour les trois phases d'une séquence de traitement de la bande de terre ne sont ni exhaustifs ni restrictifs. Elles ont pour objectif de proposer un vocabulaire le plus précis possible et d'une simplicité dans l'utilisation.

14.4.5. Représentation Tridimensionnelle de la séquence de traitement

Nous proposons une représentation tridimensionnelle de la séquence de traitement de la bande de terre afin d'illustrer toutes les caractéristiques géométriques de la séquence de traitement pour expliquer clairement l'action de l'outil sur le sol sur une longueur donnée exprimée par l'effort de résistance à la traction F_t sur cette longueur.

La séquence de traitement peut être définie comme étant l'action d'un outil de travail du sol sur le sol agricole sur une longueur donnée.

On définit une séquence de traitement de la bande de terre comme une évolution de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires sur une longueur. C'est l'expression de

l'action de l'outil de travail du sol sur une bande de terre agricole par rapport à une longueur (avancement).

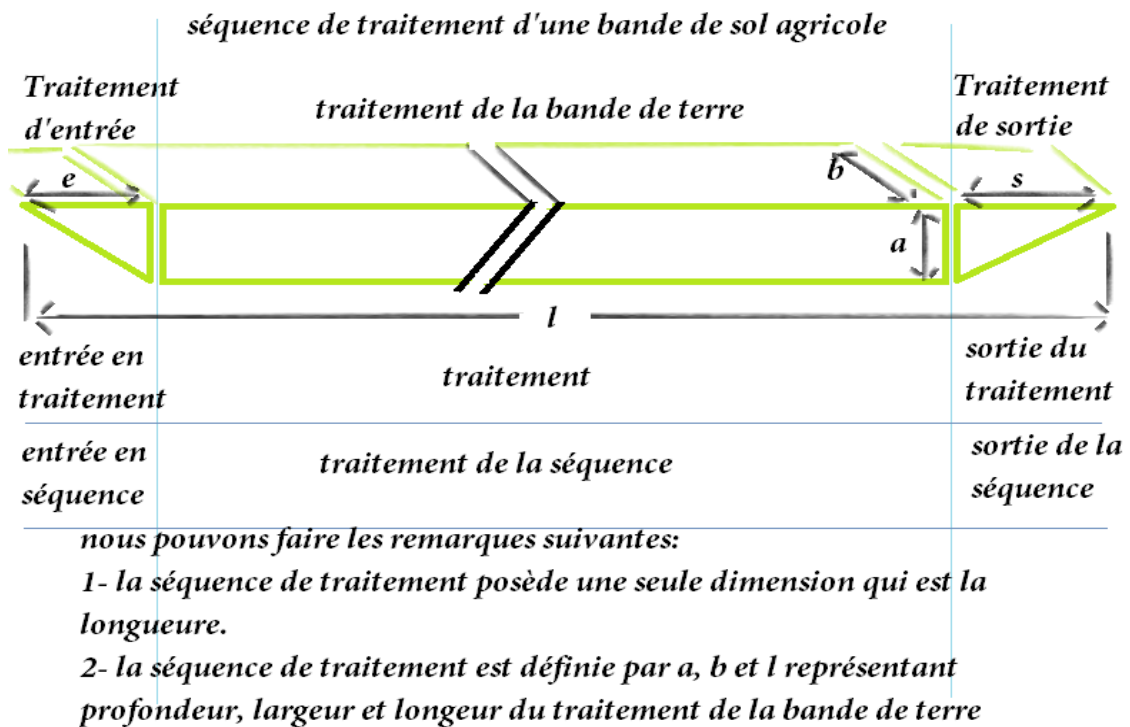


Figure 22 : Tridimensionnalité de la Séquence de traitement de la bande de terre

Suite à la représentation tridimensionnelle de la séquence de traitement de la bande de terre nous avons observé un certain nombre de détail concernant cette séquence de traitement ainsi que les trois phases constitutifs de la séquence de traitement.

Ces détails observés sur la séquence de traitement de la bande de terre et leurs phases sont les caractéristiques géométriques de la séquence de traitement.

La séquence de traitement de la bande de terre est définie par la largeur de la séquence de traitement (b), la profondeur de la séquence de traitement (a) et la longueur de traitement de cette séquence (l).

La phase début de traitement est caractérisée par la largeur de la séquence de traitement de la bande de terre (b), par une longueur de la phase entrée en traitement de la bande de terre (e) et par une variation de la profondeur de traitement de la bande de terre (a). Cette variation de la profondeur de la séquence de traitement exprime l'action d'entrée en traitement qui débute avec une pénétration de l'outil. Mathématiquement cette phase est un

intervalle des valeurs (a) profondeur de la séquence de traitement $[0,a]$, zéro représente le début de la phase entrée en traitement et (a) la profondeur de la séquence de traitement définie par les objectifs agro-techniques. Toutes les valeurs intermédiaires entre zéro et (a) sont des valeurs qui expriment cette pénétration de l'outil afin d'atteindre la profondeur de travail du sol.

La phase traitement de la bande de terre est caractérisée par une largeur de traitement (b) égale à la largeur de la phase début de traitement, une profondeur de la séquence de traitement de la bande de terre (a) constante tout le long de la phase traitement de la bande de terre sachant qu'une fluctuation Δa est généralement observé. Et enfin une longueur de traitement de la séquence (t).

La phase Fin de traitement de la bande de terre se caractérise par une largeur (b), une longueur de la phase de sortie de la séquence de traitement (s) et une profondeur qui diminue au fur et à mesure que l'outil commence à sortir du sol. Cette phase débute lorsque la profondeur (a) tend vers zéro et comme pour la phase de début de traitement (a) prend des valeurs de l'intervalle $[a,0]$. Toutes les valeurs intermédiaires sont les valeurs que prend (a) pour que l'outil sorte du sol.

L'analyse dimensionnelle des caractéristiques géométriques de la séquence de traitement de la bande de terre montre l'existence d'une seule dimension qui est la longueur.

La profondeur de travail liée à la taille et la largeur de travail du corps de charrue sont des paramètres qui influent sur la qualité du labour.

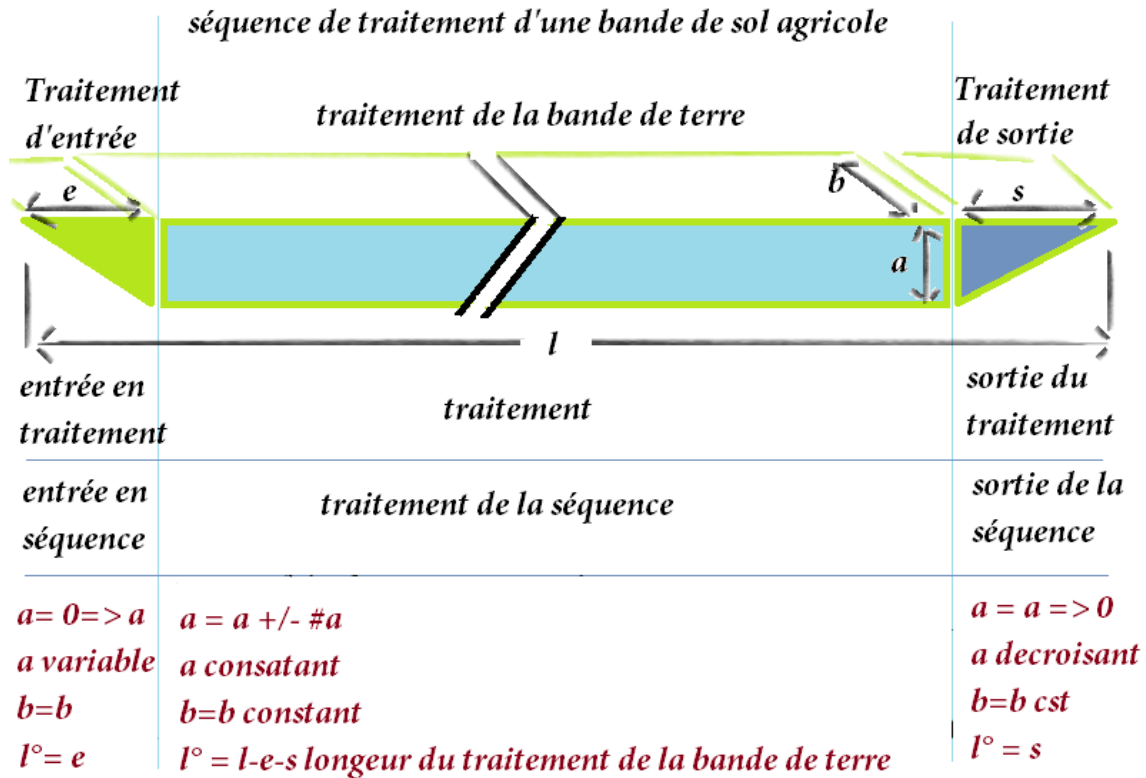


Figure 23 : représentation graphique explicatif des différents paramètres constitutifs de la séquence de traitement de la bande de terre

La caractéristique largeur de la séquence de travail de la bande de terre doit être définie correctement. Les outils de travail du sol n'agissent pas tous de la même manière sur la séquence du sol traité (travaillé). La charrue à socs ou à disques agissent sur le sol avec un retournement alors que le chisel griffe le sol. Ce qui implique des séquences différentes.

Le travail d'un corps de charrue peut être considéré comme une séquence de traitement. De ce fait trois corps de charrues qui travaillent en simultanée représentent respectivement trois séquences de traitements de trois bandes de terres.

Le travail d'une dent de chisel est une séquence de traitement de la bande de terre. Mais pas de la même façon qu'une charrue.

D'après Amara, 2009 dans la figure suivante il peut y avoir un chevauchement entre les composantes d'un outil de travail du sol cas de la charrue.

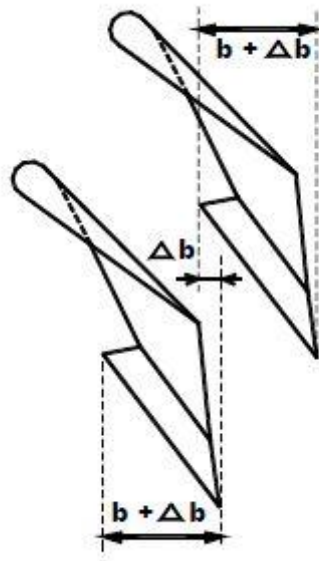


Figure 24 : Vue de dessus de deux corps de charrue à socs

Le chevauchement observé dans la figure précédente soulève la question de la considération d'un corps de charrue pour une séquence de traitement, qui peut être valable que pour la charrue mono-soc. Pour les charrues bisocs, trisocs et plus faut-il considérer la séquence de traitement non comme la somme des traitements des socs mais comme une seule séquence de traitement correspondante à la largeur de travail de l'outil ?

Pour répondre à cette question il faut revenir aux modèles mathématiques permettant d'évaluer l'effort de résistance à la traction. Les modèles considèrent chaque corps de charrues comme un traitement indépendant ce qui nous ramène à considérer l'effort de résistance à la traction F_t comme étant la somme des F_t de chaque corps, et le chevauchement Δb est négligé.

On remarque que la largeur de la séquence de traitement de la bande de terre est constante dans les trois phases de la séquence de traitement.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu sur les valeurs de la profondeur et la largeur de la séquence de traitement de la bande de terre lors d'un labour qui dépendent directement de la géométrie des outils de travail du sol.

Tableau 35 : Valeurs des profondeurs et largeurs de travail pour les différents types de labours

Type de labour	Profondeur a (m)	Largeur b (m)
Très profond	0.35 à 1	0.40 à 0.70
Profond	0.25 à 0.35	0.30 à 0.40
Moyen	0.18 à 0.24	0.25 à 0.35
Déchaumage	0.05 à 0.12	0,24
Labour sur prairie	0.15 à 0.25	0.30 à 0.50

Source : (Kanafojski, C, Z., 1967)

La largeur « b » de la séquence de traitement de la bande de terre est constante quel que soit la phase de la séquence de traitement. Sachant que la largeur de travail subit des fluctuations noté Δb appelé indice d'irrégularité de la largeur de travail et considéré comme indice qualitatif du travail du sol. Afin de ne pas confondre Δb chevauchement et Δb indice d'irrégularité de la largeur de travail il va falloir noter Δb_c (cas de chevauchement) et Δb_i (cas d'indice d'irrégularité de largeur de travail).

(l) étant la longueur de la séquence de traitement de la bande de terre est égale à la somme des longueurs des trois phases de la séquence de traitement de la bande de terre. Sachant que (e) est la longueur de la phase entrée en traitement et (s) la longueur de la phase sortie ou fin de traitement, la longueur de la phase traitement de la séquence de traitement de la bande de terre est égale à ($l-[e+s]$).

Enfin la profondeur de la séquence de traitement de la bande de terre (a) correspondant à la profondeur de travail des outils aratoires. Cette profondeur est une caractéristique de :

- la séquence de traitement de la bande de terre
- la forme géométrique des outils aratoires
- modèles mathématiques utilisés pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires

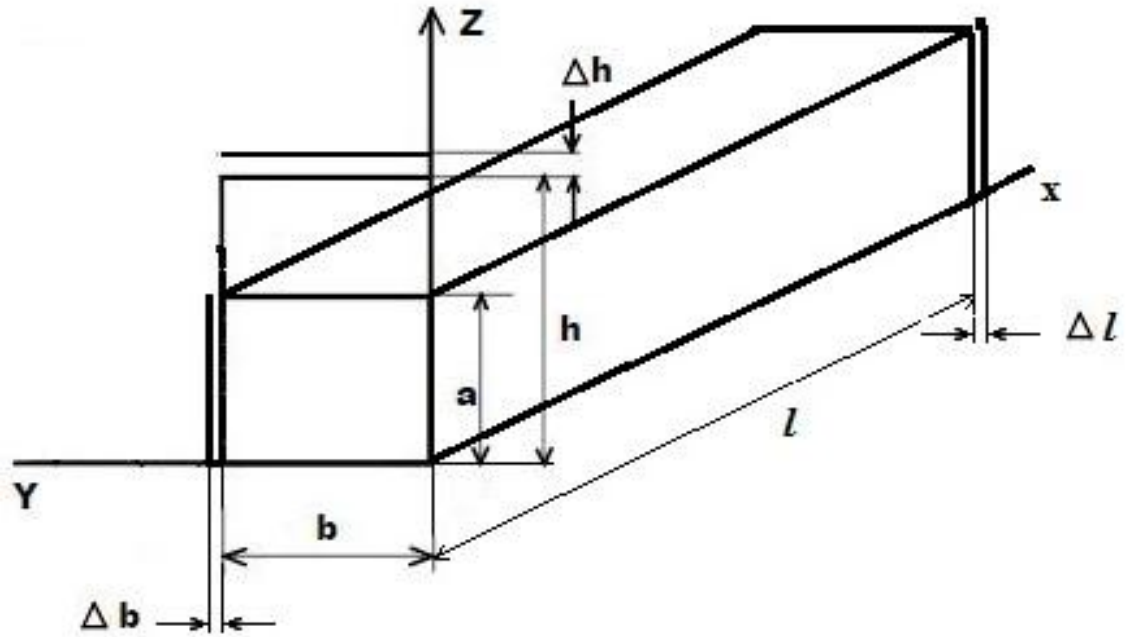


Figure 25 : Géométrie de la séquence de traitement des outils à versoirs et à disques

b : largeur de la séquence de traitement et de l'outil ; Δb : variation de la largeur de la séquence de traitement ; a : profondeur de la séquence de traitement ; Δa : variation de la profondeur de la séquence de traitement ; l : longueur de la séquence de traitement ; Δl : variation de la longueur de la séquence de traitement ; h : hauteur de l'outil ; Δh : variation de la hauteur de l'outil.

La profondeur de travail est liée au poids spécifique et à l'angle d'entrure. Pour les outils à dents la forme des socs qui les équipent ainsi que le dégagement sous bâti permet de définir la profondeur.

Les formes complexes comme les corps de la charrue à socs, provoquent des modifications dans la séquence de traitement tel que, le cisaillement, le soulèvement de la bande terre, compression de la bande de terre et enfin un retournement par torsion.

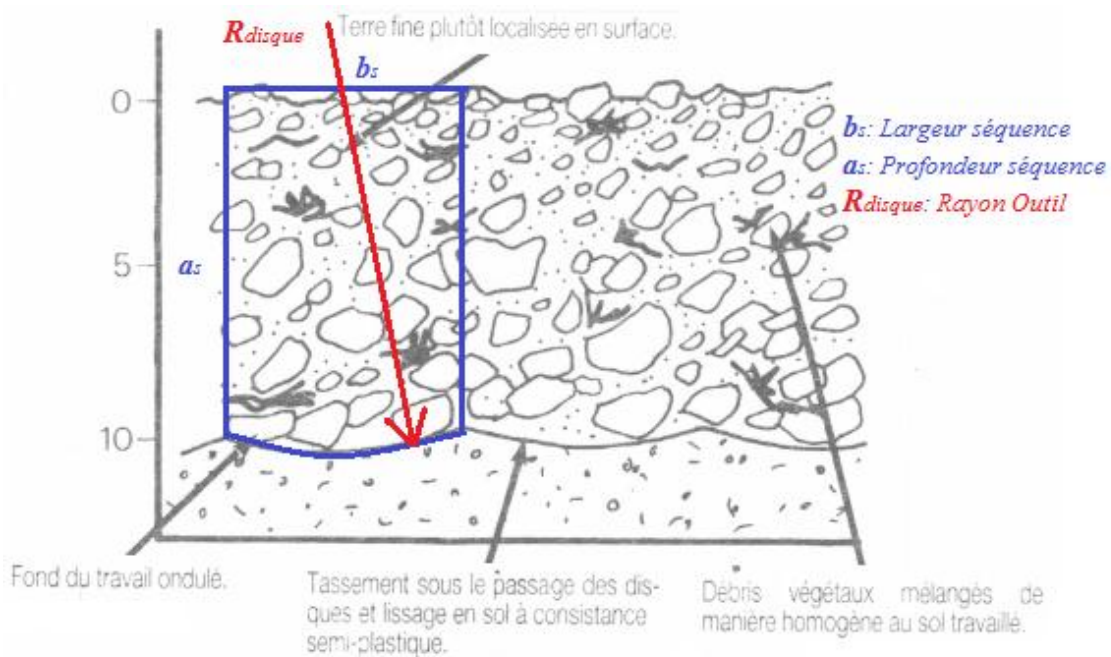


Figure 26 : Vue de face de la géométrie d'une séquence de traitement d'un outil à disque.

Les formes paraboliques des charrues à disques ou les pulvérisateurs, provoquent comme les outils à formes complexes des modifications dans la séquence de traitement du même type. Nous reprenons principalement et respectivement, le cisaillement, le soulèvement de la bande terre, compression de la bande de terre et enfin un retournement par torsion.

La largeur de la séquence de traitement d'un outil à disque est définie par ses caractéristiques géométriques. La largeur et profondeur de la séquence de traitement sont liées au diamètre du disque. Plus le diamètre est grand plus la largeur et la profondeur de la séquence de traitement sont importantes et inversement.

Nous observons une différence entre le fond de la séquence de traitement d'un outil à soc ou à versoir qui est plat et la séquence de traitement d'un outil à disque qui est courbé.

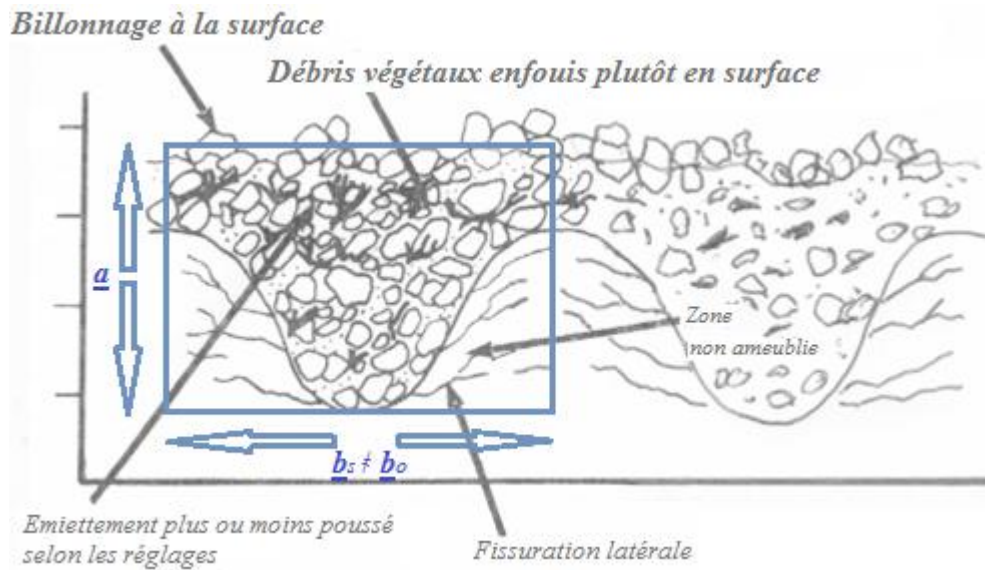


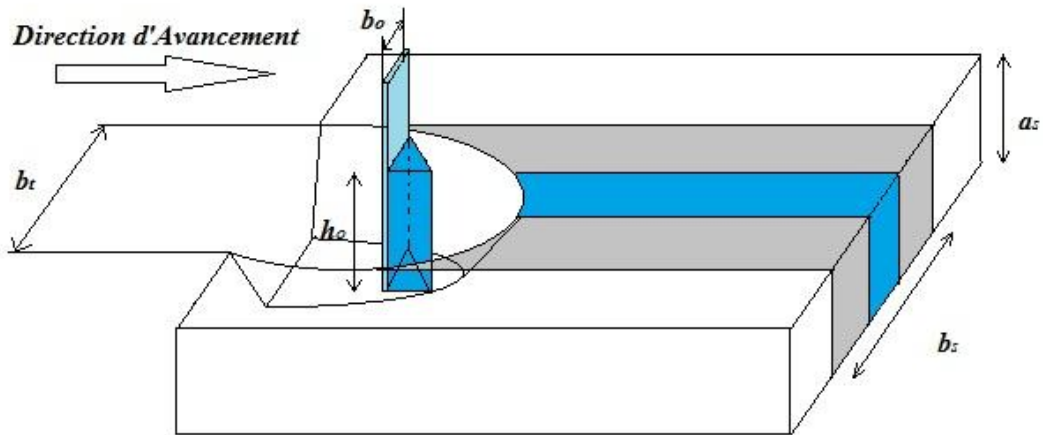
Figure 27 : Action de la dent en profondeur et l'hétérogénéité de l'action sur la séquence. Vue de face.

Sous l'effet de l'outil à dent le sol traité dans la séquence subit des modifications, elles sont liées aux formes actives des outils simples ou complexes.

Les outils à dents ou simples induisent des traitements dans la séquence par un cisaillement et un soulèvement le long de la surface active. Très faible torsion dépendante de la profondeur et du degré de courbure de la surface active de la dent.

Le déplacement de la dent dans la séquence de traitement du sol implique trois modèles de mouvements typiques décrit par un nombre d'auteurs. Cisaillement ; glissement ; mouvement du sol sur la dent ; fendillement.

La disposition des dents sur le bâti définit la séquence de traitement de chaque dent muni d'un soc adapté au travail assigné, mais aussi permet de limiter le plus possible les bourrages en les disposant sur plusieurs traverses.



b_t largeur travaillé qui correspond à la largeur de la séquence de traitement
 b_o largeur outil (la dent)
 b_s largeur de la séquence de traitement
 h_o hauteur de l'outil (la dent)
 a_s profondeur de la séquence de traitement

Figure 28 : Géométrie de la séquence de traitement d'un outil à dent

Il existe une différence entre l'action des outils à versoirs et à disques comparé aux outils à dents. La largeur de la séquence de traitement de la bande de terre est égale à celle de l'outil à versoir et à disque mais supérieure à la largeur de la dent.

Les outils les plus utilisés en Algérie restent la charrue à soc ENPMA avec une largeur de travail de 35cm et les outils à dents (cultivateur) avec des socs standards et des socs étroits réversibles. Le soc standard a une largeur qui varie entre 40 et 75 mm. Le soc étroit a une largeur variant entre 55 et 60 mm.

Finalement la séquence de traitement subit des contraintes dues à l'outil caractérisé par sa forme géométrique, deux états de contraintes sont recensés.

Etat de contrainte en un point (contrainte normale)

Etat plan de contrainte (contrainte de cisaillement)

Sachant que l'énergie nécessaire pour une séquence de traitement de la bande de terre est fonction de l'effort de résistance à la traction, il nous paraît évident de représenter cette énergie nécessaire pour le traitement d'une séquence dans les trois phases.

3.4.6. L'effort de résistance à la traction dans une séquence de traitement de la bande terre et ses phases

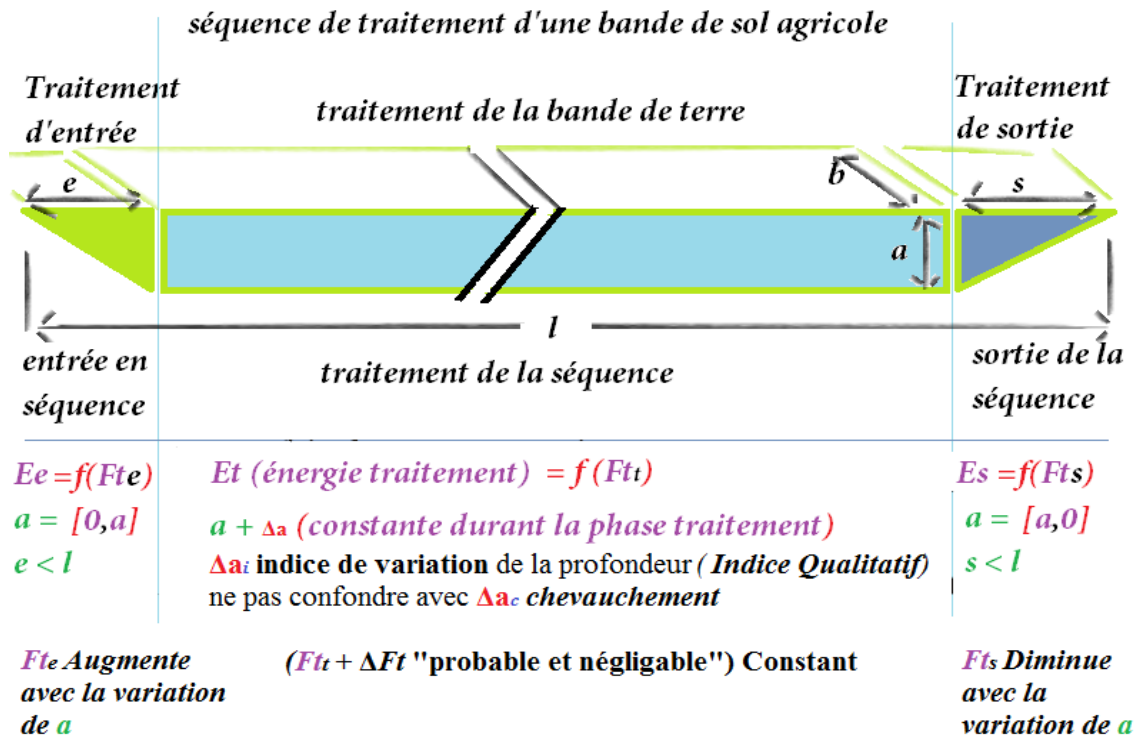


Figure 29 : l'effort de résistance à la traction dans une séquence de traitement de la bande de terre

Pour les cinq Modèles choisis GORJATCHKIN et SOEHNE (1960), BINESSE (1970), GEE GLOUGH et al (1972), BOUBRIT B. (1999) et AMARA M. (2009) la profondeur de travail est un paramètre d'évaluation de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires.

La différence entre les trois phases de la séquence de traitement réside dans le paramètre profondeur de travail. D'où les phases entrée en traitement et sortie du traitement qui sont caractérisées par une variation de la profondeur pendant chaque phase.

Les efforts de résistance à la traction sont différents pour chacune des phases de la séquence de traitement de la bande de terre. Nous appellerons F_{te} l'effort de résistance à la traction lors de la phase entrée en traitement, F_{tt} l'effort de résistance de la phase traitement et enfin F_{ts} pour l'effort de résistance à la traction pendant la sortie du traitement.

Chaque effort de traction des phases de traitement d'une séquence correspond à une énergie nécessaire au travail effectué. F_{te} correspond à l'énergie E_e (énergie d'entrée), F_{tt}

correspond à l'énergie E_t (énergie de traitement) et F_{ts} correspond à l'énergie E_s (énergie de sortie).

14.4.7. L'Énergie dans une séquence de traitement de la bande de terre

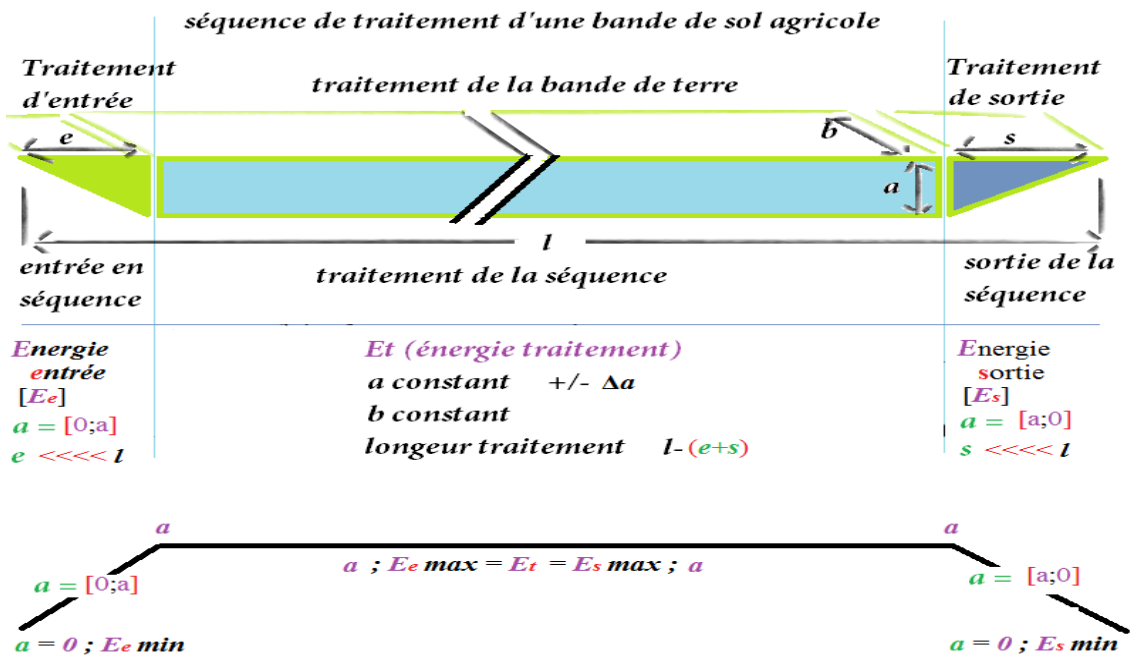


Figure 30 : L'Énergie dans les trois phases d'une séquence de traitement de la bande de terre

L'énergie est sensible à la variation de la profondeur de travail pendant les deux phases entrée et sortie du traitement.

La première variation lors de la pénétration de l'outil dans le sol. Cette augmentation de la profondeur fixée par les objectifs agronomiques implique une augmentation de l'énergie nécessaire au travail du sol.

La deuxième variation lors de la sortie de l'outil du sol. La sortie de traitement est une diminution de la profondeur qui implique une diminution simultanée de l'énergie pendant cette phase de sortie.

14.4.8. Détermination de la longueur de la phase entrée en traitement (e) et de celle de la sortie du traitement (s)

Nous connaissons les limites de la profondeur maximale permise par les outils de travail du sol définie par les concepteurs des machines agricoles de travail du sol. Ces limites

sont aussi celle des objectifs de la mise en place de la culture donc des conditions agro-techniques du travail du sol.

Pour un labour à 35 cm de profondeur, la longueur de la phase entrée en traitement doit être calculée en utilisant la tangente de l'angle d'entrure α (Alpha).

Pour la phase entrée en traitement de la séquence de traitement de la bande de terre l'angle d'entrure Alpha représente l'angle de pénétration de l'outil dans le sol jusqu'à l'atteinte de la profondeur de travail.

La sortie de traitement d'une séquence implique un angle de sortie qui doit être égale à l'angle d'entrée. Cette caractérisation de l'angle de sortie de la phase fin du traitement est purement théorique. Pratiquement le niveau de technicité de l'ouvrier conducteur du tracteur et le réglage de la machine, définirons l'angle de sortie du sol.

(Binesse, 1970b) a proposé déjà un tableau dans le quelle figure les angles d'entrure de différents types de charrues à socs. A partir de ces angles nous avons calculé la longueur de la phase d'entrée en traitement correspondante, représenté dans le tableau suivant :

Tableau 36 : Longueurs des phases entrées en traitement par rapport aux types de charrues à socs

Type versoir	Angle d'entrure en degré	Profondeur de travail (a) en mètre	Longueur de la phase entrée en traitement (e) en mètre
Forme cylindrique	15°-20°	0.35 m	1.30m - 0.96m
Forme cylindro-hélicoïdale	15°-18°	0.35 m	1.30m – 1.07m
Forme semi hélicoïdale	12°-15°	0.35 m	1.64m – 1.30m
Forme hélicoïdale	12°-15°	0.35 m	1.64m – 1.30m

Source : (Binesse, 1970b) et (Badouna. B, 2015)

On remarque que plus l'angle d'entrure est élevé plus la distance que parcourt l'outil pour atteindre la profondeur de travail du sol est raccourci. Mais pouvons-nous dire la même chose de la phase sortie du traitement ? Pour l'instant aucune réponse n'est possible devons-nous peut être étudié cette phase avec plus d'attention.

Afin de présenter une séquence complète de traitement de la bande de terre nous supposons que les deux phases entrée et sortie du traitement se font avec la même valeur de l'angle. Angle d'entrée égale à l'angle de sortie. Par conséquent la longueur d'entrée en traitement (e) et la longueur de sortie du traitement (s) ont des valeurs égales ce qui est pratiquement faux. Parce que les conducteurs de tracteur lors des travaux du sol arriver à la

fin d'une séquence de traitement relève l'outil de travail du sol à l'arrêt ce qui implique que (s) la longueur de sortie du traitement est égale à zéro. Et d'un autre côté, le conducteur relève l'outil et le fait sortir progressivement tout en avançant, les forces appliquées à l'outil agissent sur l'angle de sortie de l'outil.

Le tableau suivant représente les valeurs de l'angle d'entrure par rapport à la hauteur de l'outil, il fait apparaître clairement le comportement de l'outil à l'entrée en traitement de la séquence mais n'explique pas la sortie de traitement.

D'après le tableau suivant nous calculons la longueur de la phase d'entrée (e) en considérant cette fois la variation de l'angle d'entrure en utilisant la tangente. La longueur de la phase entrée en traitement (e) sera la somme des longueurs e_p que nous appellerons longueurs de phase d'entrée partielles.

Tableau 37 : variation de l'angle d'entrure en relation avec deux types de corps de charrues

h (mm)	40	80	120	160	200	240	280	320	360
ENPMA	29	30	39	45	57,5	68,5	76,5	80	83
SACRA	17,5	47	52,5	68	75	85	86	88,5	90

Source : (Amara, 2007)

Les résultats des calculs pour les deux formes (ENPMA et SACRA) sont consigner dans les deux tableaux suivants :

Tableau 38 : Longueur de la phase entrée en traitement de la charrue à soc ENPMA

h (m)	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
Angle entrure	29	30	39	45	57.5	68.5	76.5	80	83
e_p (m)	0.072	0.0001	0.148	0.16	0.127	0.094	0.067	0.056	0.044

Tableau 39 : Longueur de la phase entrée en traitement de la charrue à soc SACRA

h (m)	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
Angle entrure	17.5	47	52.5	68	75	85	86	88.5	90
e_p (m)	0.127	0.075	0.092	0.065	0.054	0.021	0.02	0.008	

La longueur de la phase d'entrée en traitement pour les deux types de charrues à socs est égale à la somme des longueurs partielles d'où $e = \sum e_p$.

ENPMA $e = 0.764 \text{ m} = 76.4 \text{ cm}$

SACRA $e = 0.462 \text{ m} = 46.2 \text{ cm}$

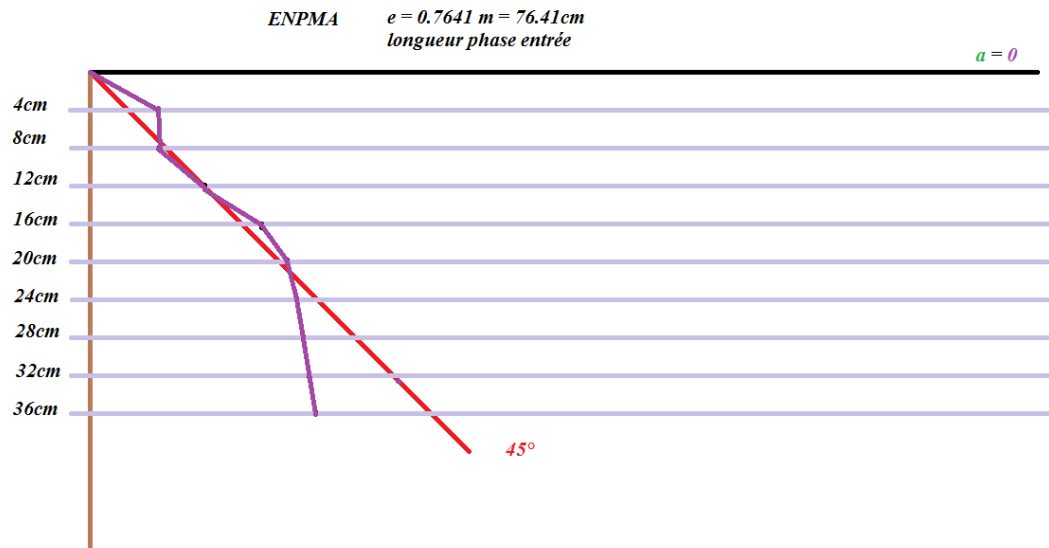


Figure 31 : représentation graphique de la phase entrée en traitement pour la charrue ENPMA

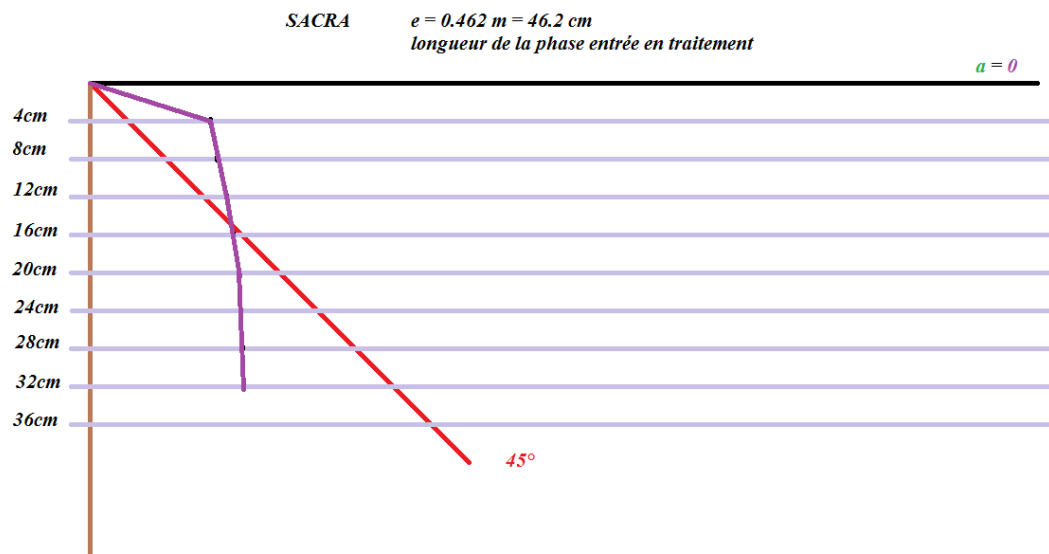


Figure 32 : Représentation graphique de la phase entrée en traitement pour la charrue SACRA

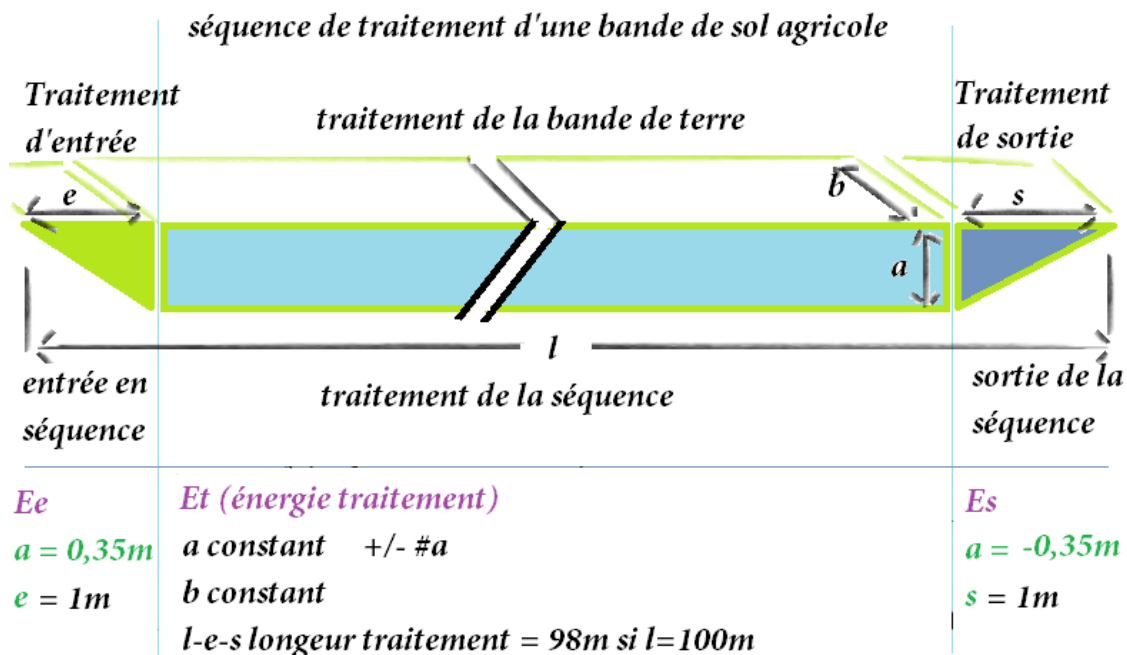
La variation de l'angle d'entrure pendant la phase entrée en traitement de la séquence donne des schémas spécifiques pour chacune des charrues ENPMA et SACRA représentés dans les figures précédentes. Nous remarquons que pour les deux types d'outils la phase entrée en traitement nécessite 76,41cm de course contre 46,2 cm pour atteindre la même profondeur. Ce qui ne fait que conforter l'effet de la forme géométrique et les réglages des

outils sur leurs comportements lors des opérations de travaux du sol et l'énergie à mettre en œuvre.

Cette énergie nécessaire lors de la phase entrée en traitement diffère d'une machine à une autre. Cette énergie est fonction de l'effort de résistance à la traction qui dépend de :

- la force de cisaillement du sol ;
- la force de frottement sol métal ;
- la force de frottement sol-sol
- la force de montée de la terre sur l'outil.

Cette énergie évaluée à travers les modèles mathématiques proposés exprimé par les forces externes à la séquence de traitement ainsi que les forces intrinsèques de la séquence de traitement.



L'utilisation d'un modèle Mathématique pour l'évaluation de l'énergie lors de cette séquence. de traitement d'une bande de terre donne $E_e \neq E_s$ et $E_e + E_s < E_t$

Figure 33 : l'Énergie dans la séquence de traitement de la bande de terre.

L'énergie nécessaire pour un traitement donnée dans ces trois phases doit être l'expression de la puissance obtenue par le produit de l'effort de résistance à la traction et la vitesse de travail.

$$E = P \times 0,239 [\text{cal} / \text{s}] \quad \text{et} \quad P = F \times v [\text{W}]$$

E : Energie ; P : Puissance ; 1 Watt (W) = 0.239 cal/s ; 1 Calorie (cal) = 4.18 Joules

Puissance (W) ; Force (N) ; Vitesse (m/s)

14.4.9. Longueur de la phase traitement de la séquence

La longueur d'une phase traitement d'une bande de terre varie d'une parcelle à une autre. Nous remarquerons dans la figure suivante les variétés des longueurs des séquences de traitement dans une parcelle. Nous avons vu plus haut le passage de l'effort de traction à la puissance en multipliant l'effort de traction par la vitesse de travail. Cette puissance est exprimée par la suite en calorie par seconde [Cal/s] ou en joule par seconde [J/s].

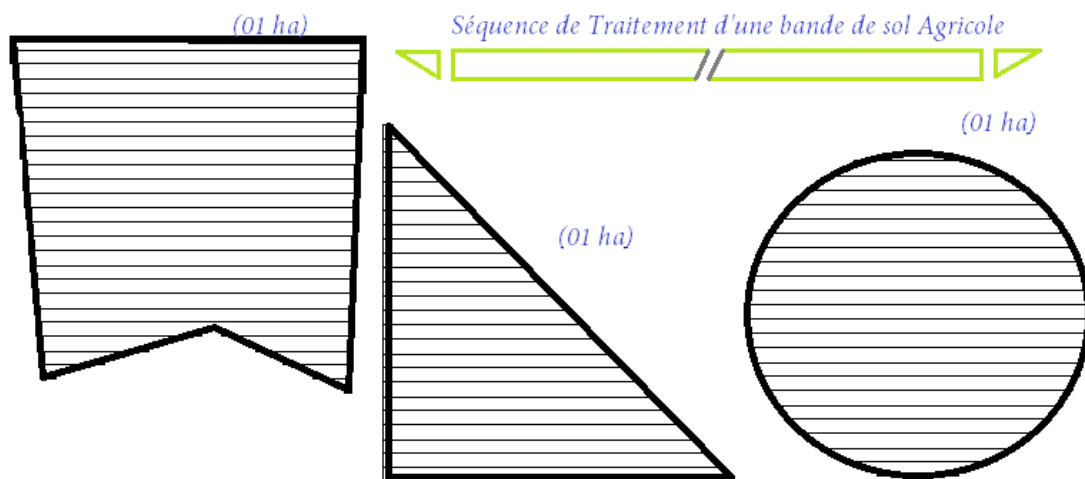


Figure 34 : Différences des formes des parcelles Agricoles

On remarque que l'énergie calculée est exprimée par le temps et non par la longueur de la séquence de traitement.

Les séquences ont des longueurs différentes dans la une même parcelle. Exemple d'une séquence de 10 mètre de longueur et une autre de 100 mètre de longueur. Sachant que la longueur de la phase entrée en traitement pour la charrue ENPMA est de 0,76m et une longueur de la phase sortie supposée égale à 0,5m. La somme des phases entrée et sortie du traitement représente 12 à 13% de la longueur de toute la séquence de traitement de 10 mètre alors que sur une séquence de traitement de 100 mètre elle ne représente que 1,2 à 1,3 %.

14.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mis en évidence les paramètres à prendre en considération pour l'établissement d'un programme informatique qui permet l'évaluation des efforts de résistance à la traction ainsi que l'énergie nécessaire à une quelconque opération de travail du sol.

La séquence de traitement d'une bande de terre étant une représentation synoptique d'une opération de travail du sol effectué avec un outil donnée. Elle nous a permis d'intégrer dans le schéma des différents paramètres utilisés lors des évaluations.

Les paramètres présentés antérieurement sont subdivisés en trois groupes qui sont les conditions du sol, les conditions de travail et les caractéristiques géométriques.

Les conditions de travail définissent la forme géométrique de la séquence de traitement de la bande de terre. Cette géométrie de la séquence de traitement de la bande de terre est aussi totalement dépendante de la géométrie de l'outil en action lors de l'opération de travail du sol.

Les conditions du sol représentent à notre avis les caractéristiques intrinsèques de la séquence de traitement de la bande de terre. Ces conditions sols ont aussi un effet sur le comportement e la séquence de traitement en réaction à l'action des outils de travail.

Pour concevoir un éventuel programme, il serait intéressant de retenir les paramètres traités et qui seront plus détaillés dans les chapitres suivants. Les modèles choisis pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction s'intègrent tous dans ce concept de séquence de traitement de la bande de terre.

Le modèle GORJASCHKIN et le modèle AMARA retenu pour la charrue à socs donnent une valeur de l'effort de résistance la traction correspondante à un corps de charrue. Il est de même pour un outil à disque ou à dents. Chaque disque ou chaque dent correspond une valeur de l'effort de résistance à la traction. Par conséquent chaque modèle indique une valeur de l'effort de résistance à la traction et correspond à une séquence de traitement. Ainsi un corps de charrue, un disque ou une dent sont modélisé à partir d'une séquence de traitement de la bande de terre compte-tenu de différents paramètres utilisés pour chacun des modèles.

Chapitre 15 : Approche d'établissement de la Carte de la répartition des besoins énergétiques

15.1. Introduction

Pour l'établissement d'une carte des besoins énergétique nous utiliserons à certain nombre d'outils. Une bonne compréhension du travail du sol et de ses composantes permettant une bonne représentation des besoins estimés pour la préparation du sol.

Les cartes des sols en Algérie, les types de travaux du sol, les programmes informatiques DERT et Q-GIS sont des outils permettant de cartographier les besoins énergétiques pour la mise en place d'une culture. (Badouna, 2009) ; (Badouna and Amara, 2015).



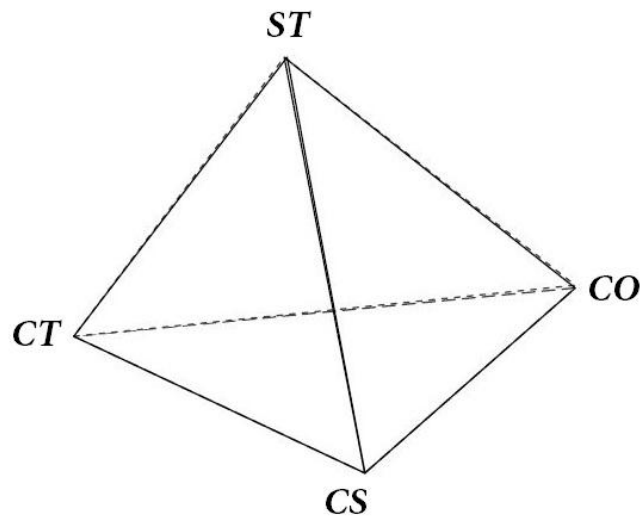
Figure 35 : Schéma synoptique montrant les caractéristiques Influ ençant l'effort de résistance à la traction

Les principaux groupes de paramètres influençant la valeur de l'effort de résistance à la traction, interviennent dans l'évaluation globale de l'énergie nécessaire dans une parcelle.

15.2. Rôle joué par les paramètres

15.2.1. Le solide de Platon

Afin de représenter les différents paramètres sous forme d'une pyramide relationnelle tétraédrique, nous avons symbolisé les conditions de travail par **CT**, les conditions (Propriétés) du sol par **CS**, les caractéristiques de l'outil par **CO** et enfin la séquence de traitement par **ST** comme suit :



L'apex de la pyramide est occupé par la séquence de traitement alors que la base de l'évaluation énergétique est formée par les conditions de travail, les caractéristiques du sol et les caractéristiques de l'outil.

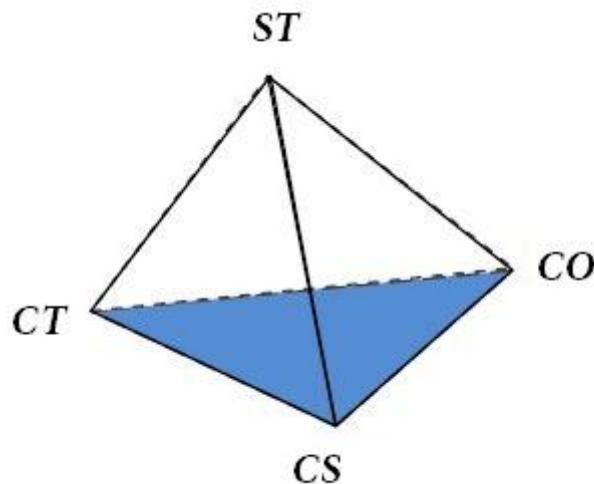
15.2.2. Les arête de la pyramide

- L'arête ST x CT = relations physiques
- L'arête ST x CS = relations mécaniques
- L'arête ST x CO = relations géométriques
- L'arête CT x CS = relations dynamiques
- L'arête CT x CO = relations de Puissances (effort de traction)
- L'arête CO x CS = relations de forces (effort de résistance à la traction)

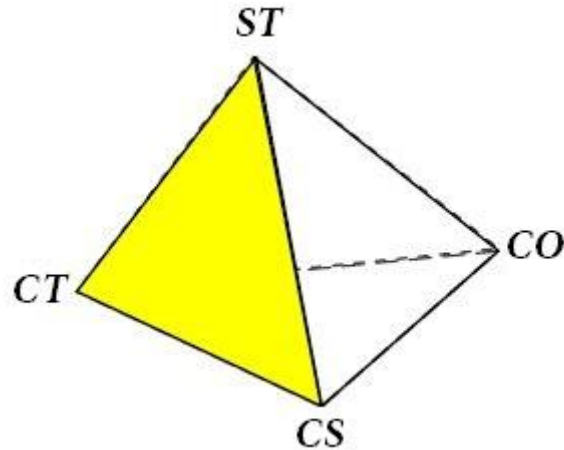
15.2.3. Les faces triangulaires sont

La base équilatérale CT x CS x CO : Face de l'évaluation de l'effort de résistance à la traction (Modèles Mathématiques) et l'évaluation des consommations énergétiques (gasoil « Méthode du Réservoir plein »)

La résistance spécifique du sol peut varier de 15 kPa pour les sols légers au taux d'humidité maximal à plus de 160 kPa pour les sols secs et plus lourds. Ces valeurs (1 kPa = 0,01 kgf/cm²) dépendent également de la forme de l'instrument. En connaissant l'ordre de grandeur de cette résistance, on peut estimer les puissances requises pour certaines opérations.

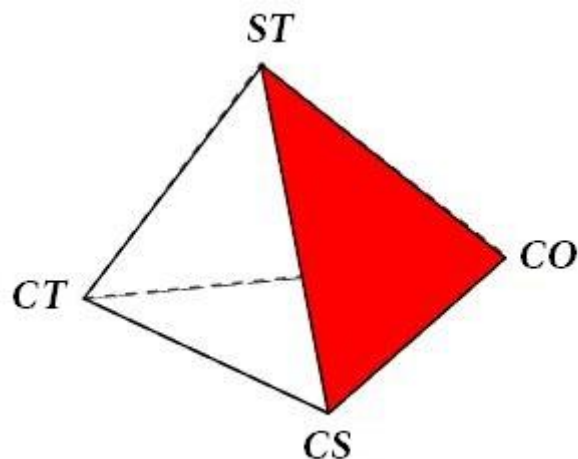


La face ST x CT x CO : Cette face représente l'effort de résistance à la traction exprimé par les conditions de travail ainsi que les caractéristiques du sol dans une séquence de traitement. Des modèles tel que : modèle **BINESSE (1970)**, **GEE GLOUGH et al (1972)** expriment l'effort de résistance à la traction sans prendre en considération les différentes formes géométriques des outils. Les modèles mathématiques **GORJATCHKIN et SOEHNE (1960)**, **BOUBRIT B. (1999)** et **AMARA M. (2009)** prennent en compte les aspects conditions de travaux et les caractéristiques du sol dans leurs interprétations de l'effort de résistance à la traction.



La face ST x CO x CS : Cette face représente les relations qui lient les caractéristiques géométriques des outils aux caractéristiques du sol dans une séquence de traitement. Voir les modèles **GORJATCHKIN et SOEHNE (1960)**, **BOUBRIT B. (1999)** et **AMARA M. (2009)**.

L'équipement influence le travail du sol de manière importante. L'équipement par ses formes agit sur le sol avec une force pour modifier ses caractéristiques. Par exemple, une charrue à versoir retournera la terre alors que le 'chisel' (cultivateur lourd) vibre et griffe le sol, l'énergie requise sera plus élevée et augmentera plus vite pour les sols lourds. La même explication s'applique à la vitesse du labour, un travail à une vitesse plus rapide nécessite une force de traction plus importante.



Un labour profond nécessitera une force de traction plus importante, qui augmente avec la profondeur. Labourer à une profondeur de 20 cm nécessite plus d'énergie qu'à une profondeur de 10 cm. A une certaine profondeur l'angle de coupe de la charrue devient

inefficace puisque le versoir ne peut plus déposer la section de terre retournée. (Willem Hoogmoed, n.d.)

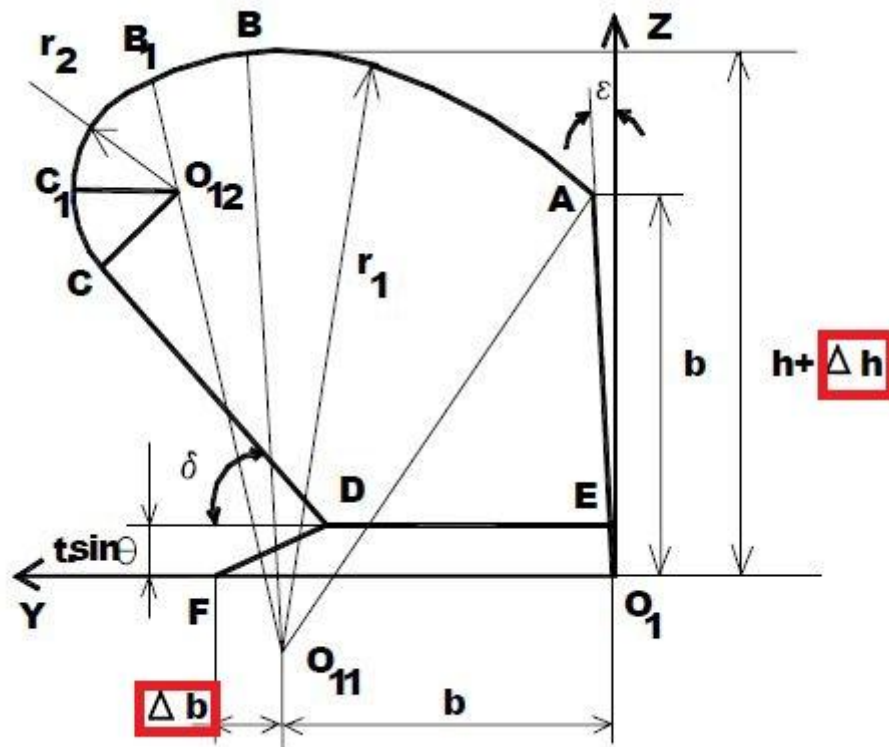
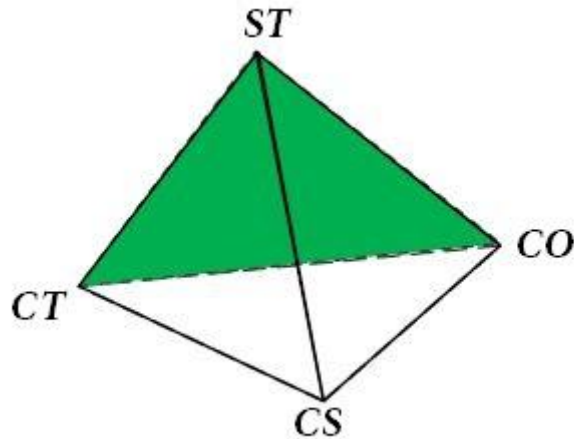


Figure 36 : Dimensions principales d'un corps de charrue vue de face. (Amara, 2009)

Des relations existent entre les caractéristiques des outils, la géométrie de la séquence de traitement et les caractéristiques du sol qui sont intrinsèques à la bande de terre travaillée dans l'évaluation de l'effort de résistance à la traction. A titre d'exemple pour la charrue les figures suivantes montrent la complexité de la caractérisation des outils.

Face ST x CO x CT : Cette face représente les relations qui lient les caractéristiques géométriques des outils aux conditions de travaux dans une séquence de traitement. Voir les modèles **GORJATCHKIN** et **SOEHNE (1960)**, **BOUBRIT B. (1999)** et **AMARA M. (2009)**.



15.2.4 Les sommets de la pyramide

a- Interaction séquence de traitement-séquence de traitement :

Les séquences de traitements sont différentes d'une parcelle à l'autre et ils diffèrent dans la même parcelle. Suivant la forme de la parcelle il est possible d'avoir plusieurs longueurs de séquence. Des légères variations dans les largeurs Δb des séquences et dans les profondeurs Δa de celles-ci sont à noter (Amara, 2007).

b- Interaction condition de travail-condition de travail :

Les conditions de travail d'une séquence influent les unes sur les autres. Prenant l'exemple du choix de la vitesse de travail qui définira la grandeur des variations observés des largeurs et des longueurs de travail (Δa et Δb).

c- Interaction caractéristique du sol-caractéristique du sol :

Les caractéristiques physique et mécanique du sol interagissent pour créés cette condition sol. Leurs interaction est à la fois texturale et structurale. Porosité, densité et masse volumique sont en interaction permanente. (Amara, 2007) explique cette interaction comme étant un état physique du sol qui résulte de l'interaction entre ses propriétés intrinsèques et les différents facteurs extérieurs, d'ordre physique ou mécanique. De ces derniers relèvent les problèmes de travail du sol. Il est nécessaire de prendre en considération l'anisotropie du sol et surtout sa variabilité spatiale.

d- Interaction caractéristique géométrique outil-caractéristique géométrique outil :

Les caractéristiques géométriques de l'outil sont forcément liées car ils définissent l'outil de travail agissant sur la séquence de traitement. Les caractéristiques géométriques définissent la séquence de traitement géométriquement parlent. Ajoutez à ce qui a été dit que les caractéristiques géométriques de la bande de terre travaillé dans une séquence de traitement dépend en grande partie des caractéristiques géométriques outils. Il est nécessaire de noter que les caractéristiques géométriques sont liées aux constructeurs, donc chaque fabricant d'outils de travail du sol se distingue des autres fabricants par la géométrie de ces outils.

Le tétraèdre nous permet de mettre en évidence les différentes composantes intervenant dans l'évaluation et la répartition de cette énergie sur une carte.

15.3. Conclusion

Vu la dynamique des activités agricoles il est difficile de consigner les informations relative à ces activités dans des cartes. Cependant lors de l'analyse des paramètres liées à l'évaluation de l'effort de résistance à la traction, il nous semble que les informations sols, les conditions de travail, les machines et tracteurs peuvent être gérées dans un système d'information géographique.

Une gestion avec un système d'information géographique est possible. Vu que les parcelles cultivées sont inchangeables et que les tracteurs et les Machines agricoles sont amortis au minimum sur cinq années.

La compréhension des mécanismes et des relations qui existent entre les conditions sol, conditions travail et les caractéristiques outils nous ont permis de cerner les différents paramètres liés aux modèles d'évaluation de l'effort de traction et à l'évaluation de l'énergie permettant l'établissement de carte.

Il est possible de cartographier l'énergie pour chaque opération de travail du sol ainsi que les puissances nécessaires pour chaque opération relative à l'outil approprié.

IV^{ème} partie : Proposition (conception) d'un programme informatique pour la détermination des besoins en énergie pour la mise en place d'une culture

Chapitre 16 : Conception du programme informatique

16.1. Introduction et objectifs

Pratiquement dans la vie quel que soit le secteur d'activité et l'emploi que nous exerçons, nous utilisons tous et toujours des fichiers et des bases de données. La seule différence qui puisse exister entre les uns et les autres réside dans le volume d'information (ou de données) nécessaires au traitement des problèmes que chacun doit résoudre.

Avec les grands progrès actuels, les informations deviennent de plus en plus nombreuses et les délais de réaction de plus en plus courts. L'ordinateur nous permet de dominer ce flot sans cesse croissant d'informations.

Au niveau de cette partie le travail portera sur l'utilisation des moyens informatiques pour la réalisation d'un logiciel qui permettra :

- L'évaluation de la consommation d'énergie au niveau d'une exploitation agricole. Ce programme informatique sera un outil de décision pour un choix optimal des machines agricoles et notamment du tracteur, source de l'énergie consommée.
- Etablissement d'une base de données nationale relative à la consommation d'énergie pour la mise en place d'une grande culture. (diffusion du logiciel via internet)
- Réalisation d'une carte nationale de consommation d'énergie pour les différentes techniques culturales, initialement elle portera sur la première étape de l'itinéraire technique à savoir les opérations de préparation du sol pour les céréales.

16.2. Hypothèses de base pour la réalisation du programme informatique

Pour l'établissement du programme informatique nous devons définir les hypothèses de base qui suit :

Les modèles choisis nous permettront de générer une base de données permettant d'améliorer les modèles existant ou bien pour proposer un nouveau modèle.

Le programme informatique s'appuiera sur une base de données tracteur et machines agricoles. Certaines caractéristiques du sol feront partie de la base de données initiale.

La consommation horaire du carburant est augmentée de 8 à 12% pour le réglage et l'entretien du moteur, une vitesse inadaptée augmente la consommation du carburant de 3 à 7%, un excès de glissement augmente la consommation du carburant de 3 à 7% et le réglage et l'entretien des outils augmente la consommation du carburant de 2 à 10%. Les valeurs minimales dans chaque cas représentent l'utilisation du tracteur dans des conditions optimales et les valeurs maximales représentent un état d'usure très important entre les deux c'est à l'utilisateur de choisir la valeur correspondante à l'état du tracteur et qui va augmenter la consommation du carburant de ce tracteur.

16.3. Les unités utilisées pour l'évaluation dans le programme

L'énergie est exprimé en [Gj/h] Giga Joule par heure et en [Tep] tonne équivalent pétrole

Puissance du tracteur et puissance nécessaire à la traction des machines agricoles KW ou CV

Largeur, profondeur en m

Consommation horaire (kg/h)

Consommation spécifique (kg/cv.h)

Humidité H%

Vitesse de travail V (m/s)

Gravité g ou accélération terrestre (m/s^2)

Poids de l'outil G en kg

Coefficient K (N/m^2)

Coefficient de forme du versoir ε (N/m^3)

Coefficient de résistance au roulement f

Section du sol travaillé S (m^2)

Cohésion du sol C (kg/dm^2)

Angle de frottement interne du sol, Angle d'entrure Alpha α , Angle d'incurvation Bêta β et Angle de pointe Thêta θ ($^\circ$) degré

S_c , S_p , N et Coefficient de correction C_r (sans unité)

Masse Volumique du sol ρ (KN/m^3)

Densité apparente d_a (daN/m^3)

16.4. Moyens et Méthodes

16.4.1. Les moyens informatiques utilisés

Les moyens utilisés pour concevoir le programme sont un ordinateur et un langage de programmation.

16.4.1.1. Hardware

Les configurations des machines sont les suivantes

Intel(R) Core(TM) i5-2410M CPU @ 2.30GHz 2.30GHz, 6 Go de RAM, Windows 7(64bits).

Intel(R) Core(TM) i3-4030U CPU @ 1.90GHz 1.90GHz, 4 Go de RAM, Windows 8 (64bits).

16.4.1.2. Software utilisé

Les software(s) utilisés pour la conception du programme sont **MySQL** pour les tables de la base de données et le **Java** pour crée l'interface graphique qui va permettre la gestion de la base de données. Ces deux softwares sont utilisés dans un environnement **Microsoft Windows**.

Le programme DERT 1.0 et DERT 2.0 ont été amélioré pour donner le programme DERT 3.0.

16.4.2. Quelques définitions

16.4.2.1. Un programme informatique:

Un programme informatique est un ensemble de directives, nommées instructions, qui spécifient :

- Les opérations élémentaires à exécuter,
- La façon dont elles s'enchaînent.

Certaines instructions permettent de répéter plusieurs fois un ensemble d'instructions, d'autres, de choisir entre plusieurs ensembles d'instructions. La possibilité de réaliser des choix et des répétitions est due uniquement au fait que l'ordinateur a mis le programme en mémoire. C'est ainsi qu'il pourra répéter à diverses reprises les mêmes instructions sans qu'il ne soit nécessaire de les lui fournir plusieurs fois.

Pour s'exécuter, un programme a besoin qu'on lui fournisse des informations appelées *données*. En retour, le programme va fournir d'autres informations appelées *résultats*, après traitement des données.

A noter que certaines informations (données) sont fournies manuellement à l'ordinateur, alors que d'autres sont *archivées* dans l'ordinateur lui-même. Le programme y accédera alors directement.

16.4.2.2. SQL :

L'abréviation **SQL** signifie Structured Query Language c'est à dire «langage structuré de requête ». C'est un langage standard utilisé pour construire des requêtes et pour accéder aux systèmes de base de données. La plupart des langages qui utilisent les bases de données intègrent le **SQL** pour permettre une manipulation efficace des données.

Delphi et WINDEV intègre le **SQL** pour les bases de données locales et pour les bases de données client / serveur.

SQL utilisé dans le programme DERT 1.0 est **Microsoft SQL server 2000**.

Pour le programme DERT 3.0 nous avons utilisé My SQL 5.6.12 pour SGBD.

16.4.2.3. Java 8 :

Java est idéal pour les applications Base de données et une alternative aux solutions propriétaires. Comme les bases de données relationnelles java permet d'exécuter des requêtes SQL, à récupérer les résultats et tente de standardiser l'accès aux bases de données.

Les avantages de Java sont : l'optimisation qui s'exprime par une utilisation des possibilités du Système de gestion de base de données, la transparence avec un choix des classes à stocker (appel à l'API) et une notion de transaction.

Java permet la création des objets, écriture des objets et lecture des objets.

16.4.2.4. Base de données :

On fait appel à l'approche base de données lorsque les données à gérer sont de natures divers (exemple : parcelle, champs, tracteurs, machines agricoles, travaux, passages, ...) et possèdent de nombreux liens entre elles (exemples : une parcelle comporte un ou plusieurs champs, un champ subit des travaux, le travail est assuré par un tracteur et plusieurs machines agricoles, ...)

Le concept « base de données et système de gestion de bases de données (SGBD)»

Définition : Une base de données représente un ensemble organisé de données, mémorisé par un ordinateur qui est utilisé par de nombreux utilisateurs.

Le concept de base de données - ou données centralisées – se substitue historiquement au concept de fichiers.

Un **SGBD** est un ensemble de programmes permettant de :

Définir la BD : Spécifier les types de données, la structure, les contraintes...

Construire la BD : Stocker des données sur disque.

Manipuler la BD : Récupérer des données stockées (requêtes sur la BD).

Mettre à jour les données

Maintenir la BD : Gestion des données (concurrency, fiabilité,...) et des utilisateurs (droits)

Une base de données aide à suivre, mémoriser et retracer l'évolution de l'information (un ou plusieurs paramètres), afin de restituer et traiter d'une façon globale ou ponctuelle les informations obtenues.

- Une base de données est un ensemble de données organisées, partagées et intègres.
- Les bases de données relationnelles organisent les informations en Tables qui contiennent des lignes et des colonnes. Les lignes sont les enregistrements et les colonnes sont les champs.
- Les tables peuvent être manipulées par des opérations simples appelées *calcul relationnel*.

Organiser des données au sein d'une base conduit à :

- Améliorer la cohérence des informations,
- Diminuer les volumes mémorisés sur disque par élimination des redondances,
- Intégrer dans une vision commune les vues partielles.

Les bases de données se doivent de satisfaire aux cinq critères suivants :

- Bonne représentation du monde réel
- Non redondance de l'information
- Indépendance des programmes par rapport aux données
- Sécurité et confidentialité des données
- Performance des applications

Les différentes fonctions du système de gestion de la base de données (SGBD)

La fonction « description »

La fonction « utilisation et manipulation de la base »

La fonction d'« intégrité »

La fonction « confidentialité »

La fonction « contrôle des accès concurrents »

16.4.2.5. Différents types de bases de données

Les applications peuvent être connectées aux bases de données locales ou aux serveurs distants.

Le choix du type de la base de données à utiliser dépend de plusieurs critères :

- La quantité de données.
- Le nombre d'utilisateurs.
- Les performances (vitesse) attendues.

La mise en œuvre de la base de données :

Concevoir une base de données représente un processus complexe qui dépend d'un certain nombre de paramètres. Cette conception est possible en décomposant le processus en différentes phases. La phase conceptuelle, La phase d'implémentation logique, La phase d'implémentation physique.

Le but de la phase conceptuelle consiste à obtenir un schéma qui permet la description des classes d'éléments de la base de données et des relations existantes entre ces classes, ainsi que les règles d'évolution et de certaines contraintes.

Cette organisation conceptuelle est formée de trois parties :

- La structure des données,
- Les contraintes d'intégrités,
- Les règles d'évolution de la base.

Cette conception permet une représentation des activités et des objets réels.

Les objectifs de la conception d'une base de données doivent :

- répondre aux besoins en informations des utilisateurs et les applications.
- Fournir une structure d'informations naturelles et facile à comprendre.

- Supporter les besoins de traitement et les objectifs de performance, ex. : temps de traitement.
- Concevoir des structures de données qui ne s'ébranlent pas dans le temps.

Le modèle conceptuel de données se situe à mi-chemin entre deux objets tangibles et distincts.

1. le système réel.
2. la base de données qui représente le système.

16.4.3. La normalisation du modèle relationnel

L'objectif de la normalisation est de construire un schéma de base de données cohérent.

Un mauvais schéma logique peut conduire à un certain nombre d'anomalies pendant la phase d'exploitation de la base de données. Pour qu'un modèle relationnel soit normalisé, il faut qu'il respecte certaines contraintes appelées les formes normales. Les formes normales s'appuient sur les dépendances fonctionnelles entre attributs. La dépendance fonctionnelle permet de passer d'un ensemble de propriétés non structuré à un modèle conceptuel des données.

La normalisation élimine les redondances et permet : une diminution de la taille de la base de données sur le disque, une diminution des risques d'incohérence et d'éviter une mise à jour multiple des mêmes données.

16.4.3.1. Les 3 formes normales

A. 1° forme normale :

Une relation est normalisée en première forme normale si :

- 1) elle possède une clé identifiant de manière unique et stable chaque ligne
- 2) chaque attribut est mono évalué (ne peut avoir qu'une seule valeur par ligne)
- 3) aucun attribut n'est décomposable en plusieurs attributs significatifs

B. 2° forme normale

Une relation R est en *deuxième forme normale* si et seulement si : elle est en 1FN ; et tout attribut non clé est totalement dépendant de toute la clé.

Autrement dit, aucun des attributs ne dépend que d'une partie de la clé.

La 2FN n'est à vérifier que pour les relations ayant une clé composée. Une relation en 1FN n'ayant qu'un seul attribut clé est toujours en 2FN

C. 3° forme normale

Une relation est en 3° forme normale si et seulement si : elle est en 2° forme normale ; et tout attribut doit dépendre **directement** de la clé, c'est-à-dire qu'aucun attribut ne doit dépendre de la clé par transitivité.

Autrement dit, aucun attribut ne doit dépendre d'un autre attribut non clé.

D. Application des règles

Si l'une des 3 règles n'est pas vérifiée, cela indique une erreur dans le modèle relationnel et il faut alors modifier pour que les 3 règles soient vérifiées pour toutes les relations.

On vérifie les règles dans l'ordre. Si la première forme normale n'est pas respectée, pas la peine de vérifier la 2FN. Et si la 2FN n'est pas vérifiée, inutile de vérifier la 3FN.

Il existe d'autres formes normales mais on admet couramment que ces 3 premières formes normales sont suffisantes pour permettre de construire des modèles fiables et cohérents.

16.5. Modélisation conceptuelle

L'évaluation de l'énergie dans un itinéraire technique d'une culture comme le blé, par la consommation horaire du tracteur ou bien le calcul de l'effort de résistance à la traction, et l'élaboration de la base de données nécessitent une architecture particulière, qui permet d'enregistrer toutes les informations sur les caractéristiques du sol, ainsi que la topographie du

terrain et ses coordonnées géographiques, les caractéristiques des outils, les conditions de travail, les tracteurs et machines-outils existant ainsi que leur caractéristiques. Tout ça doit être enregistré dans des tables.

L'analyse fait ressortir dix (10) entités. Qui correspondent aux tables de la base de données :

1. Agriculteur.
2. La parcelle.
3. Les champs.
4. Textures et Sols
5. Les tracteurs.
6. les outils de travail du sol (Machines Agricoles).
7. Le travail à faire pour un champ.
8. Les opérations constituant un travail.
9. Les passages de chaque opération.
10. Les modèles mathématiques.

Les tables doivent être en relation par des codes d'identification

Un organigramme sera proposé afin d'expliquer l'architecture du programme, les relations et l'ordre dans le quelle les différentes composantes du programme seront exploiter. Il faut identifiés les tables et expliquer comment ils sont reliev entre eux, comment les exploiter. Et pour cela l'organigramme est indispensable.

16.5.1. Organigramme

L'organigramme permet de schématiser la structure du programme, donnés les grandes lignes, les fonctions principales du programme de manière simplifié, ordonnée et claire de l'approche adopté.

L'organigramme du programme informatique D.E.R.T a évolué pour donner en 2015 une structure plus exhaustive prennent en compte les modèles mathématiques et les consommations horaires afin de comparé les résultats obtenus par les deux méthodes d'évaluation et dans l'objectif de cartographie les résultats obtenu pour représenter la répartition des consommations prévus ou effectuée sur une zone donnée.

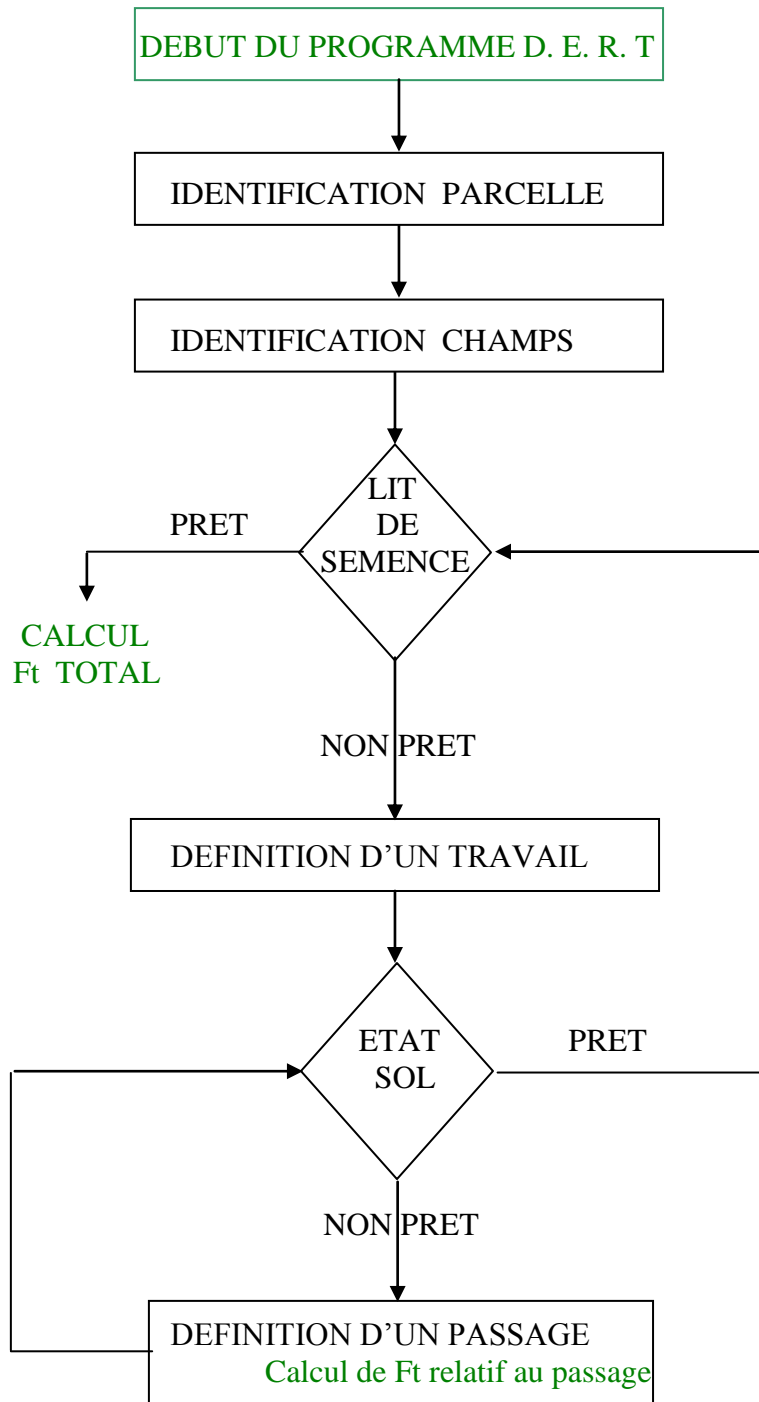
Les différents organigrammes proposés de 2001, 2009 et 2015 sont présentés ci-dessous. Nous pouvons observer dans ces différents organigrammes l'évolution de la logique et la structure du programme. Aussi les différentes tables constitutives du programme et des relations entre les tables.

L'évolution de la logique du programme a nécessité l'ajout de table et de modifier la structure de certaines tables existantes afin de collecter un maximum d'information.

16.5.2. Organigramme du programme D. E. R. T. 1.0 dans (B. BADOUNA 2001)

Celui-ci schématise la logique globale du déroulement du programme D. E. R. T. 1.0

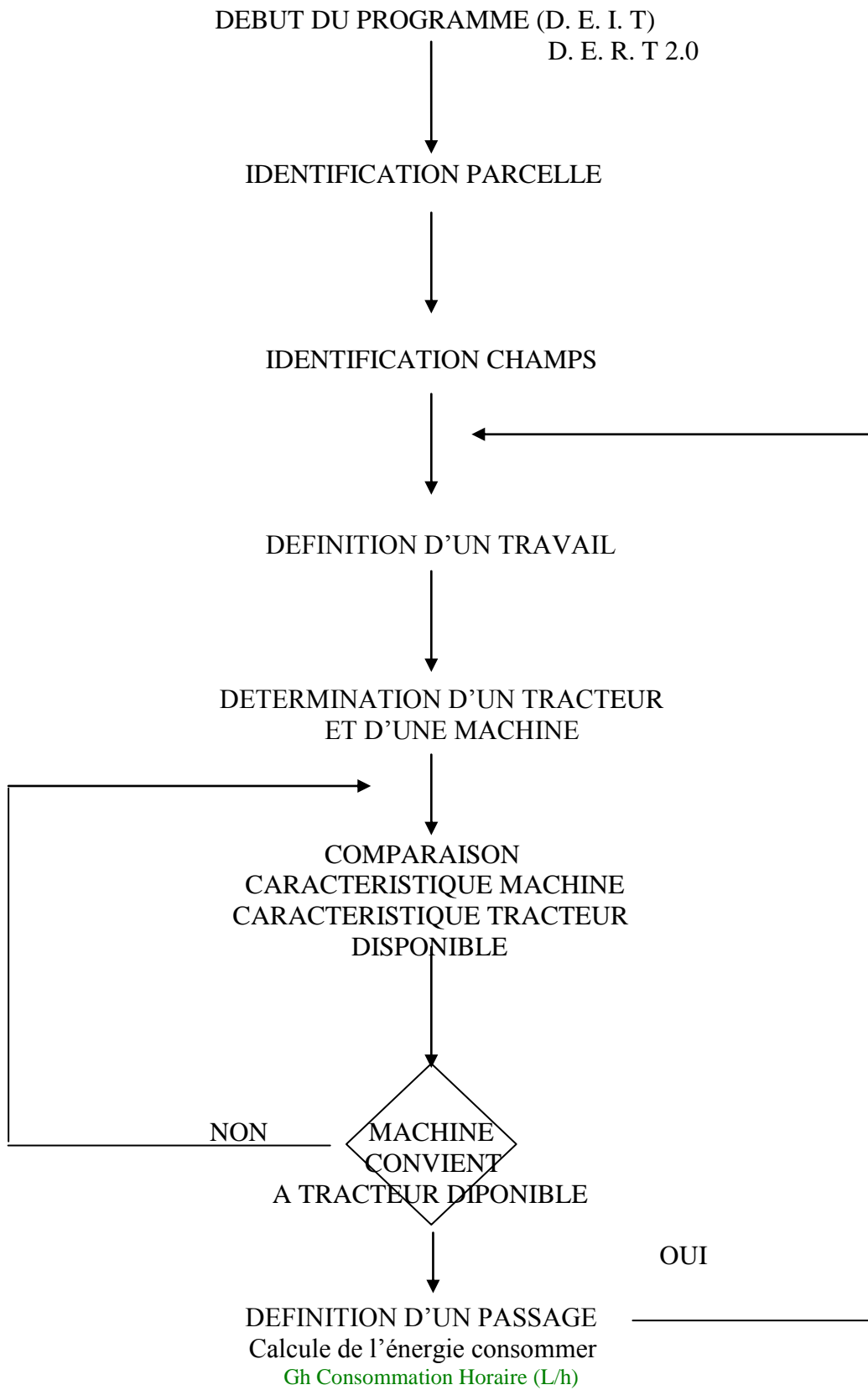
L'organigramme



L'organigramme suivant, présente une nouvelle approche pour effectuer les calculs de l'énergie consommée par le biais du fuel (gas-oil) en litre par heure nécessaire à une opération donnée.

16.5.3. Organigramme du programme D. E. I. T.

(Détermination de l'Énergie dans l'Itinéraire Technique) D. E. R. T 2.0



L'organigramme a évolué pour donner la forme suivante exprimant les relations de la nouvelle structure du programme. L'organigramme de D.E.R.T 3.0 a nécessité l'introduction d'une nouvelle table Opérations entre la table Travaux et Passages. Cette table nous permet de définir les différents types de travaux précédemment détaillés. D'un autre côté, l'Opération dans certains cas peut nécessiter plusieurs passages.

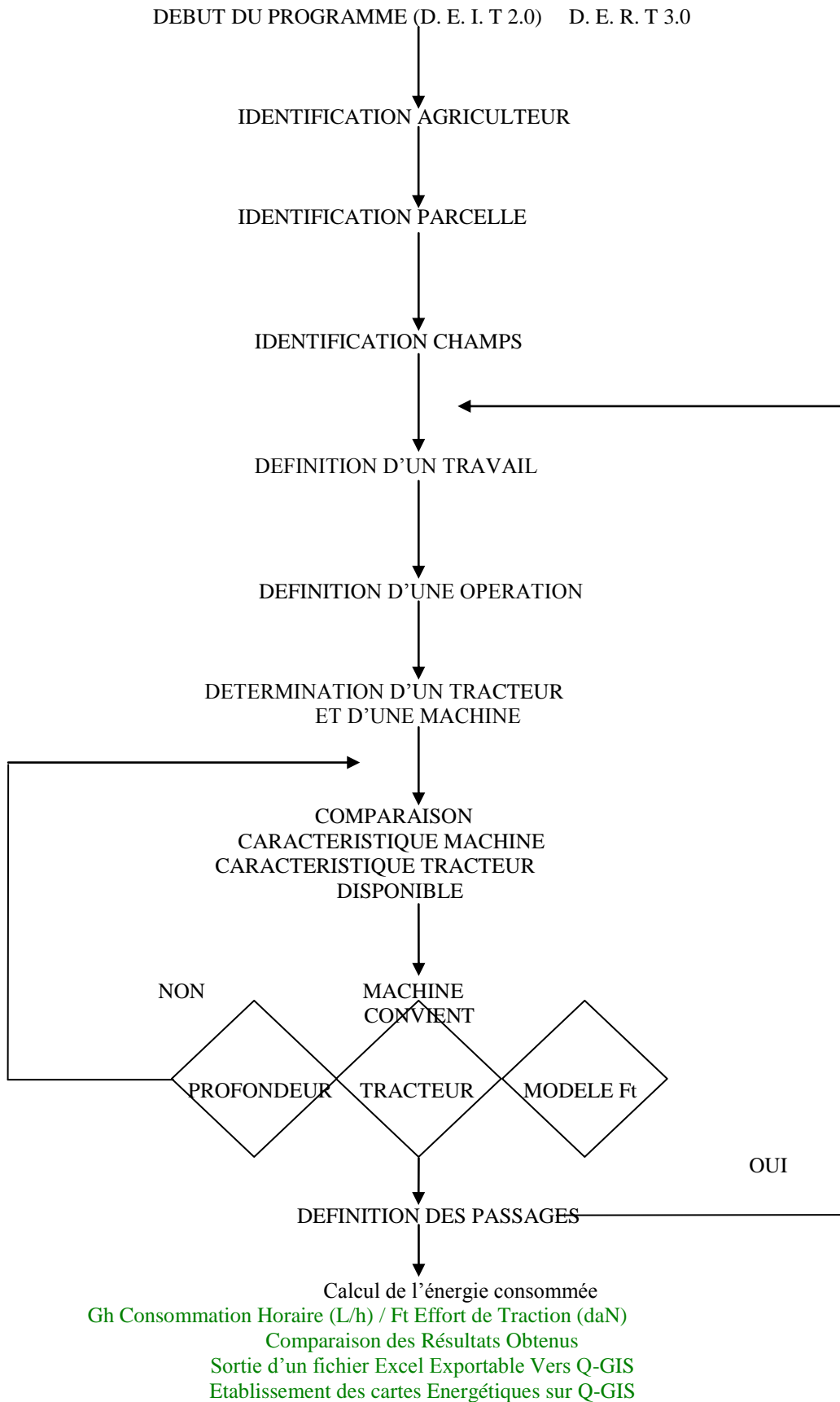
Des tests appelés aussi contrôles figurent dans l'organigramme. Test de compatibilité du tracteur avec la ou les machines agricoles lors d'une opération donnée. Test de la profondeur de travail défini dans l'opération avec la machine utilisée. Test de la compatibilité du modèle mathématique avec le type d'outil de travail.

Le programme donne la possibilité d'évaluer l'effort de résistance à la traction dans des intervalles de valeurs en plus de l'évaluation de cas précis à valeurs fixe dans certains modèles mathématiques. Cette aspect de l'évaluation dans un intervalle de valeurs donne deux valeurs à l'effort de résistance à la traction des outils aratoires une valeur Minimale et une autre maximale.

L'évaluation par intervalle met les tables relationnelles en difficulté. Dans ce type d'utilisation des bases de données à tables relationnelles nous sommes dans la limite de ce type de technologie, a cette contrainte il été nécessaire de passer à un langage objet (JAVA).

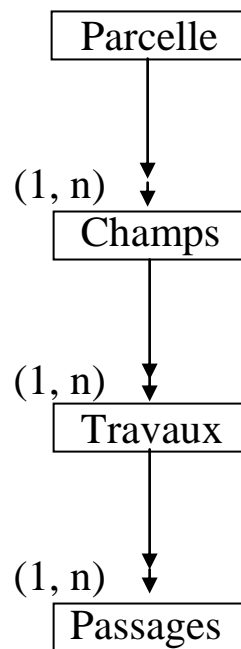
16.5.4. Organigramme du programme D. E. I. T. 2.0

(Détermination de l'Énergie dans l'Itinéraire Technique) D. E. R. T 3.0



16 .5.5. Relation entre entités

Pour D. E. R. T 1.0 dans (BADOUNA B. 2001) les relations entre les entités Parcelles, Champs, Travaux et Passages sont :



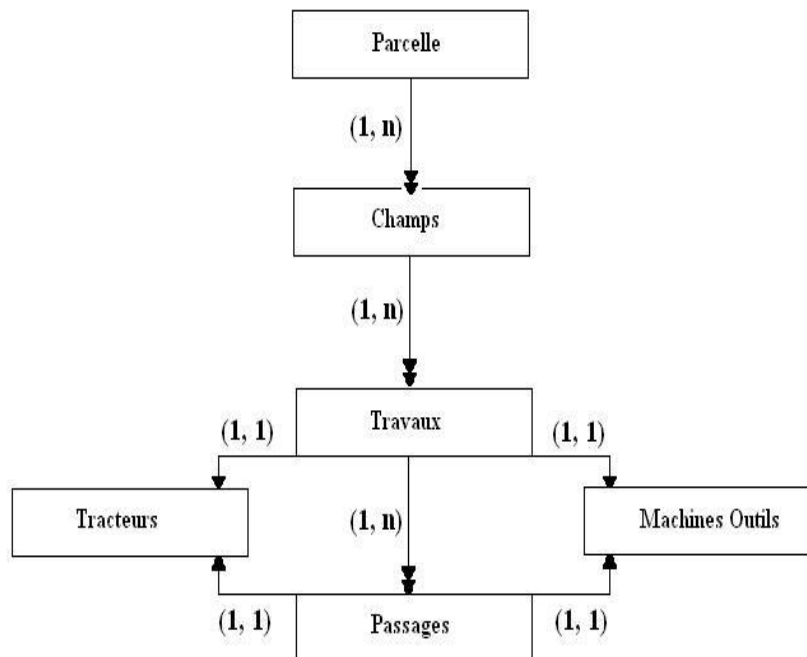
Parcelle = {champs}
Champs = {travaux}
Travail = {passages}

Pour D. E. R. T 2.0 les relations entre les entités sont :

Les relations entre les entités sont des liaisons qui existent entre les tables de la base de données. Ils nous permettent de comprendre les liens qui relient ces différentes tables les unes aux autres.

La compréhension de ces relations facilite l'écriture du programme et la représentation graphique de celui-ci. Nous constatant que la table Parcelle est liée à la table Champs par une relation une à plusieurs, en d'autres termes, une Parcelle peut contenir un ou plusieurs Champs. Aussi dans un Champs nous effectuons un ou plusieurs Travaux, ce qui signifie que la relation Champs Travaux est de la nature un à plusieurs. La même chose pour la relation Travaux Passages qui est un à plusieurs. Alors que pour les relations Travaux Tracteur, Travaux Machines Agricoles, Passages Tracteur, Passages Machines Agricoles, sont du type un à un ce qui signifie, pour un travail existe qu'un seul tracteur et une machine agricole. Même chose pour un passage.

La relation entre les entités Parcelles, Champs, Travaux, Tracteur, Machines Outils et Passages.



- Parcelle = {Champs}
- Champs = {Travaux}
- Travaux = {Passages} = Tracteur = Machine Outil
- Passage = Tracteur = Machine Outil

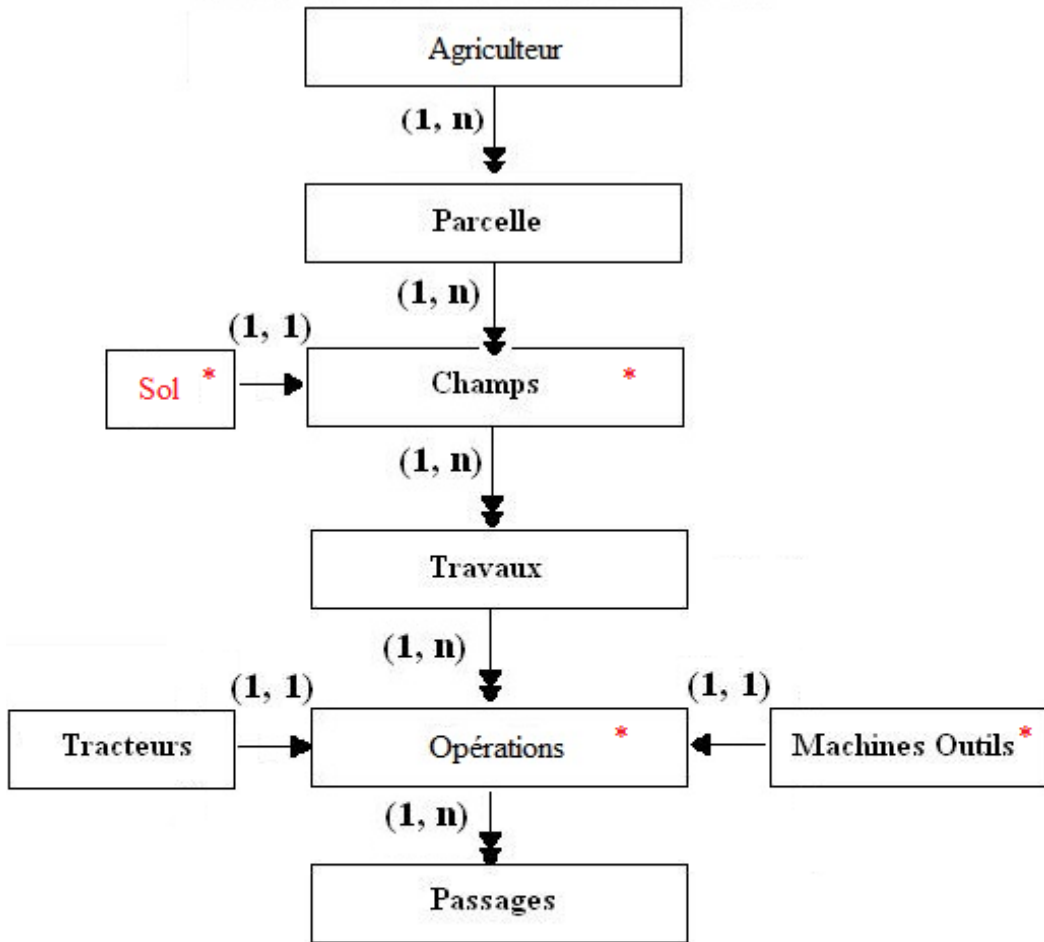
Les relations entre les entités de la base de données ont évolué pour les objectifs du programme. Nous passons à l'objet pour remplacer les tables relationnelles. L'objet offre plus de possibilités des relations définies et facilitent l'écriture du programme et la représentation graphique de celui-ci.

Nous avons ajouté les entités Agriculteurs, Sols et Opération. Sachant que l'entité Parcelle est liée à l'entité Champs par une relation à plusieurs. Aussi dans un Champs nous effectuons un ou plusieurs Travaux, ce qui signifie que la relation Champs Travaux est de la nature un à plusieurs. La même chose pour la relation Travaux, Opérations et Passages qui est un à plusieurs. Alors que pour les relations Opérations Tracteur, Opération Machines Agricoles, Sols Champs, sont du type un à un ce qui signifie, que pour une Opération il existe qu'un tracteur et une machine agricole. Même chose pour un Sol-Champ.

Notons dans la figure suivante tous les (*) associer aux entités Sols, Champs, Tracteurs, Machines Agricoles et Opérations représentent les entités nécessaire aux calculs de l'effort de résistance à la traction ainsi que la consommation horaire des tracteurs dans lesquelles le programme puisera les valeurs des paramètres et composantes des équations.

Trois tests sont nécessaires pour la vérification de l'intégrité des valeurs calculés. Test Machines / Tracteur ; Test Machines / Profondeur de l'opération ; Test Machines / Modèles Mathématiques.

Relations entre les entités Agriculteurs, Parcelles, Champs, Travaux, Opérations, Passages, Sols, Tracteurs et Machines Agricoles.



Agriculteur = {Parcelle}

Parcelle = {Champs}

Champs = {Travaux}

Travaux = {Opération} = Tracteur = Machine Outil

Opération = {Passages}

Passage = Tracteur = Machine Outil

16.5.6. Les propriétés « attributs » de chaque entité

Les propriétés sont présentées ci-dessous :

Agriculteur

Code Agriculteur *(9 999 999) Chrono
 Raison Sociale
 Adresse
 Wilaya *
 Commune *
 Téléphone
 Fax 99 99 99-99-99
 Mobile 99 99 99-99-99/ idem/ idem
 E-mail
 N° Carte 999 999 999

Parcelle

Code parcelle * (Agri + Chrono)
 Adresse
 Wilaya *
 Commune *
Statut juridique
 Altitude 999 999 [m]
 Longitude 999 999 [UTM/WGS] E/O
 Latitude 999 999 [UTM/WGS] N
 Surface 999 999 (hectare [ha])
 Nombre de champs
 Irriguée ou non

Champs

Agriculteur *
 Code parcelle *
 Code champs (Parcelle + Chrono)
 Adresse *
 Wilaya *
 Commune *
 Date jj/mm/aaaa
 Surface 999 999 (hectare [ha])
 Altitude 999 999 [m]
 Longitude 999 999 [UTM/WGS] E/O
 Latitude 999 999 [UTM/WGS] N
 Vocation *
 Nombre de pente
 Pente [(%) / (°)]

Travaux

Code Parcelle
 Code champs
 Code travail
 Nom du travail
 Commentaire

Opérations

Code Opération
 Code travail
 Nom Opération
 Largeur du travail
 Profondeur de travail
 Vitesse de travail

Sols

Code Sol		
Texture		
Argile		[%]
Limon		[%]
Sable		[%]
Profondeur du sol		[m]
Cra_deformation		[daN/m ²]
Cône index		[daN/m ³]
Humidité		[%]

Texture

Code		
Désignation		
Densité		[Kg/m ³]
Masse Volumique		[Kg/m ³]
Cohésion		[daN/dm ²],[kg/dm ²]
Angle de frottement interne		[°] [Radian]

Tracteur

N° Série	AN999999999999
Immatriculation	99-999-999999
Marque	
Motricité 2X4	
4X4	
Chenille	
Puissance	[cv]__[w]__[kw]
Consommation Gasoil	
Spécifique	[kg/cv.h]
Horaire	[kg/h] [L/h]
Type relevage	

Machine Agricole

N° Série		
Désignation		
Poids	9 999	[Kg]
Puissance nécessaire	999	[CV/kW]
Type relevage		[I/II/III]
Largeur de travail	99.99	[m]
Profondeur de travail	999.99	[m]
Coefficient de forme du versoir <i>epsilon</i>	999 999.99	[daN/m ³]
Nombre de corps de charrue ou de dents n	99	[sans unité]
Angle d'inclinaison du soc <i>alpha</i>	99.99	[(°)/(radian)]
Angle d'entrure	99.99	[(°)/(radian)]
K1 Longueur maxi/hauteur		
K2 Largeur maxi/Largeur point d'inflexion		
Type machine	(trainer ; porter) (Gauche ; Disque ; Dents)	
Modèle Mathématique *		
Cra_roulement		
Coef_correction_μ		
Coef_conversion		
Echelle		

Des entités qui n'apparaissent pas dans l'organigramme et qui sont indispensables à son fonctionnement, elles sont présentées ci-dessous. Elles permettent une automatisation de certaines fonctions comme l'affectation de valeurs pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction.

Ces entités permettent aussi l'établissement des cartes ainsi qu'un minimum de classification des résultats.

Wilaya

Code Wilaya (99)
Libellé

Commune

Code Wilaya *
Code Commune (W + 999)
Libellé

Modèles

Code Modèle (Chrono)
Nom Modèle GORJACHKINE
GEE CLOUGH
BINESSE
BOUBRIT
AMARA
Type Machine Gauche
Disque
Dent

Vocation

Code (Chrono)
Type
Description

Le programme D.E.R.T nous permet avec les attributs suivant l'évaluation des besoins en fuels avec la méthode de la consommation horaire des tracteurs. Cette consommation horaire du Tracteur correspondant à une machine agricole peut être augmenté par le

- réglage et entretien moteur,
- vitesse inadaptée,
- excès de glissement
- réglage et entretien d'outils.

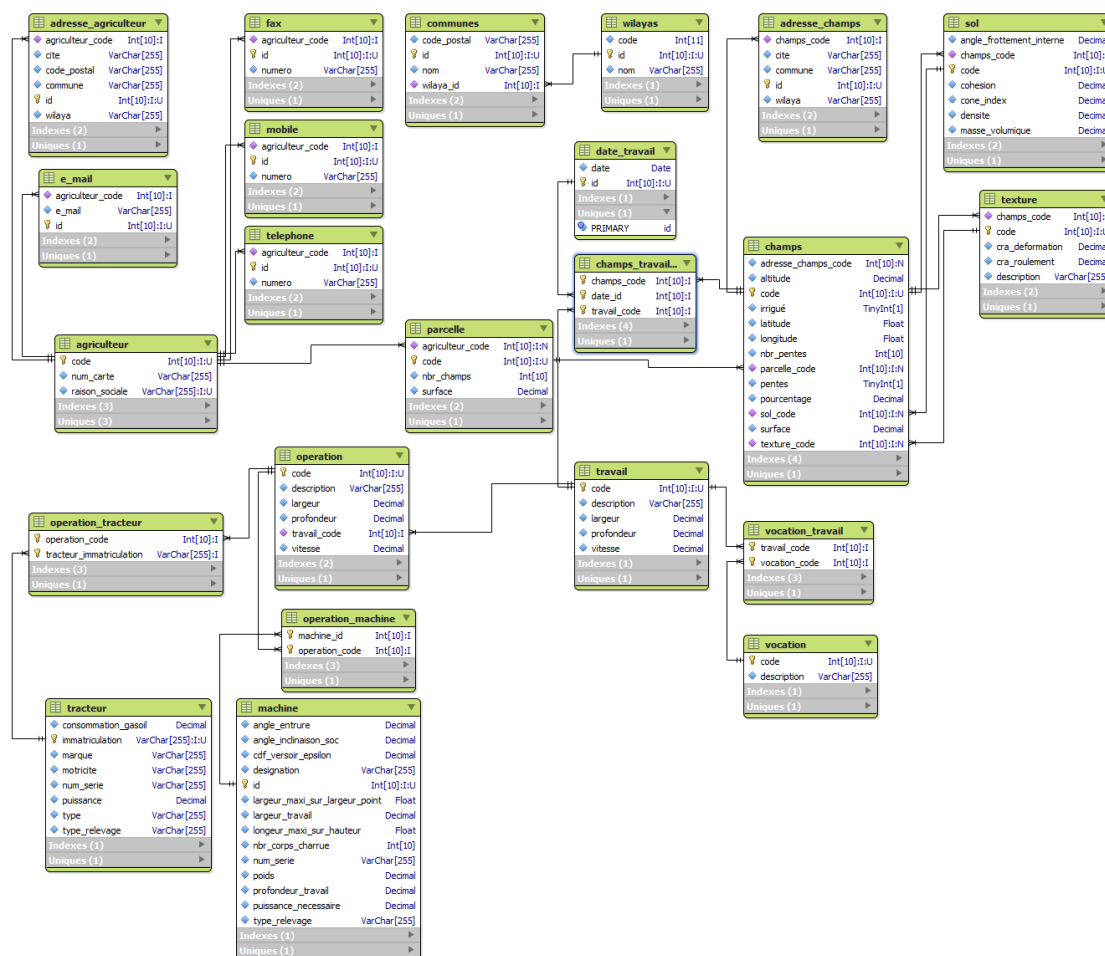


Figure 37 : Diagramme de conception de la base de données

Le schéma logique (algorithmique) explique avec précision le fonctionnement du programme informatique. Chaque étape est précisée. Le schéma logique ou algorithme exprime la manière dans le programme doit traiter toutes les informations, les procédures et l'ordre dans le quelle elles sont exécuter. C'est la logique de la machine exprimé en langage humain.

16.6. Conception physique de la base de données :

Le programme D. E. R. T. Permet l'utilisation d'une base de données locale constituée de plusieurs tables afin d'enregistrer toutes les informations nécessaires à l'analyse des chercheurs et des statisticiens. Aussi nous offrons aux agriculteurs averti, aux ingénieurs et étudiants la possibilité de calculer la consommation en énergie dans un itinéraire technique en choisissant directement le matériels à utiliser avec un tracteur.

Cette base de données peut être partagée entre plusieurs utilisateurs dans un réseau local. Une interface graphique est nécessaire pour utiliser la base de données.

Le programme donne la possibilité de calculer l'énergie en utilisant la méthode de l'effort de résistance à la traction par le biais des modèles mathématiques et de comparer les résultats avec la méthode du réservoir plein.

16.6.1. Présentation des données :

Une fois les tables de la base de données créées, il faut ensuite les exploiter. L'utilisateur a besoin de visualiser et de saisir des données, d'effectuer des calculs et d'imprimer des résultats. La réponse à ces différents besoins de présentation de données est fournie par les *formulaires* destinés à être affichés à l'écran et les *états* destinés à être imprimés.

16.6.1.1. Les formulaires :

Un formulaire est destiné à être affiché à l'écran pour offrir à l'utilisateur une interface agréable à la mise à jour des tables, l'affichage, la saisie ou la modification.

Il y a deux types de formulaires :

1. Les formulaires de présentation de données. Leur objectif est de présenter, saisir ou modifier les données d'une ou de plusieurs tables.
2. Les formulaires de distribution. Ils ne sont attachés à aucune table, et servent uniquement de page de menu pour orienter l'utilisateur vers les formulaires ou états. Ils ne contiennent que du texte et des boutons d'orientation.

Sous sa forme la plus simple, un formulaire se présente comme une page dans laquelle on place des composants graphiques permettant l’affichage d’un enregistrement.

Il est aussi possible d’effectuer des calculs qui seront affichés dans les formulaires.

Il est possible d’afficher des données de deux tables qui sont en relation l’une avec l’autre. On utilise dans ce cas un formulaire qui contient les données de la table principale, et un sous-formulaire qui contient les données de la table liée. Le sous-formulaire est alors placé dans le formulaire principal créant ainsi une relation père fils entre formulaires.

Le sous-formulaire n’affiche que les enregistrements relatifs à l’enregistrement en cours du formulaire principal. Si l’utilisateur change d’enregistrement principal, les sous formulaire sont automatiquement mis à jour.

Un formulaire principal peut contenir plusieurs sous formulaires. De plus, un sous formulaire peut contenir lui aussi un autre sous formulaire.

Il est aussi possible de préciser le mode d’utilisation d’un formulaire ; pour effectuer des saisies ou pour faire de l’affichage de données sans mise à jour possible.

16.6.1.2. Les états :

Si les formulaires offrent une réponse élégante à la question « comment présenter les données à l’écran », ils ne sont pas adaptés à la présentation papier. Pour analyser les données et les mettre en page pour l’impression on utilise un état. Celui-ci permet l’affichage de plusieurs enregistrements simultanés mais aussi le calcul de cumul, de regroupement et l’affichage de synthèses. Il permet aussi l’élaboration de graphiques de présentation.

Un état est un objet structuré qui comprend plusieurs niveaux. Dans sa forme la plus simple, il contient :

- Un entête de formulaire.
- Un entête de page.
- Une zone de détail.
- Un pied de page.
- Un pied de formulaire.

V^{ème} partie : Essai d'établissement d'une carte énergétique et exploitation du programme D.E.R.T

Chapitre 17 : Etablissement d'une carte énergétique

17.1-Objectifs

Le programme informatique proposé est un outil d'aide à la décision intéressant pour les exploitations et pour les agronomes. Il serait également un outil à prendre en considération dans le cadre du recensement des équipements agricoles par les secteurs administratifs liés au domaine agricole.

Le programme informatique conçu permettra en première étape ; la mise en place d'une base de données relatives aux besoins en moyens de traction et en machines agricoles nécessaires pour la mise en place des grandes cultures. Cette première étape tiendra compte des caractéristiques agro techniques des différentes régions. Et enfin, l'utilisation de cette base de données sera la base de la mise en place ou de l'élaboration d'une carte relative aux besoins en énergie à un niveau régional et même national.

Ce programme vise également un autre objectif qui consiste à mettre à la disposition des institutions intéressées, un outil de recensement continu. Il devient un moyen à la mise à jour continue sur les informations relatives à la mécanisation agricole. Il permet en outre l'élaboration d'une carte sur les besoins énergétiques.

17.2-Intérêt de l'établissement d'une carte des besoins en énergie

Notre pays possède plus de 8 millions d'hectares de la SAU, cette superficie nécessite une quantité importante en énergie pour les opérations de travaux agricoles. Pour quantifier les besoins énergétiques il est indispensable de proposer une carte des besoins énergétiques en Algérie. D'autre part, cette quantification permet une optimisation de la consommation en énergie à travers le territoire national.

La disponibilité d'une telle carte des répartitions énergétiques permettrait aux décideurs et aux institutions nationales de proposer un équipement adapté en fonction des caractéristiques de chaque région. Il est possible d'avoir différents types cartographiques (énergétique, puissance et l'effort de traction) qui offrirait aux différents utilisateurs du secteur agricole la possibilité du choix des techniques les plus rentables économiquement pour la mise en place des cultures.

17.3-Méthodologie de cet établissement

L'utilisation du programme informatique pour l'évaluation des besoins énergétiques implique l'apport d'une base de données exprimée en différentes valeurs sur l'effort de résistance à la traction, sur la puissance nécessaire pour tracter une machine agricole, notamment les outils aratoires et enfin de l'énergie consommée par chacune des opérations de la mise en place de la culture.

Le programme conçu présente aussi un avantage, il donne la possibilité aux différents utilisateurs d'exporter les données de la base de différentes manières.

- La première est une exportation des données sous forme d'impression papier.

- La deuxième est une exportation de fichier d'extension du type (.csv) qui devra être exploité dans un programme SIG dans le but de gérer les résultats obtenus et d'établir des cartes énergétiques.

Le format de fichier (.csv) généré par le programme informatique DERT est destiné à être importé par le programme Q-GIS. Le choix de Q-GIS est fait pour le caractère open source du programme et sa gratuité, sachant que le Q-GIS par sa puissance et sa fiabilité est une des référence parmi les programmes GIS.

Nous pouvons trouver fréquemment des cartes utiles à l'évaluation des efforts de résistance à la traction. Elles contiennent surtout des informations sur les sols. Cependant les cartes disponibles sont souvent dans des systèmes de coordonnées géographiques différents comme c'est le cas des cartes pédologiques et celle des vocations des terres de Tipaza qui sont faites en UTM Nord Sahara 1959 tandis que les photos satellitaires tirées de Google Earth Pro sont en WGS. Une conversion s'impose afin de passer d'un système à un autre.

Dans cette partie du travail, nous sommes attelés à des programmes informatiques et à de divers logiciels que nous citons ultérieurement. Deux méthodes d'évaluations ont été adoptées. La première est typiquement manuelle et la seconde est exclusivement informatisée.

- La première étant manuelle ne signifie en aucun cas la non utilisation des outils informatiques. Nous citons un tableur (exemple : Microsoft Excel, Open office Tableur), un outil de Dessin Assister par Ordinateur « DAO et CAO » (type AutoCad pour windows, MEDUSA4 Linux et windows, des clones d'AutoCad et DraftSight sous Linux). Google Earth Pro qui est distribué gratuitement sur Internet et un convertisseur de coordonnées

géographiques, nous avons utilisé PCC V2.0 2004-2009 dans sa version essai. Programme de conversion conçu par Adjou. M en Algérie distribué dans sa version payante aux différents bureaux d'études. Les résultats obtenus après calcul dans un tableur sont traités dans un DAO ou dans un SIG.

- La deuxième méthode dite informatique est choisie dans le cadre de nos travaux. Elle consiste à l'utilisation de programme DERT pour évaluer les efforts de résistance à la traction. Les résultats obtenus doivent être exporté dans un SIG pour traitement, gestion et génération des cartes énergétiques. Il paraît évident que l'utilisation du programme DERT et Q-GIS pour sa gratuité font que la deuxième approche est meilleur. Tant sur le plan temps d'évaluation des efforts et celui de réalisation des cartes que sur l'automatisation d'un certain nombre de manipulation. DERT fait les calculs et Q-GIS gère les informations et génère les cartes.

17.3.1- Cartes utilisées pour obtention des données

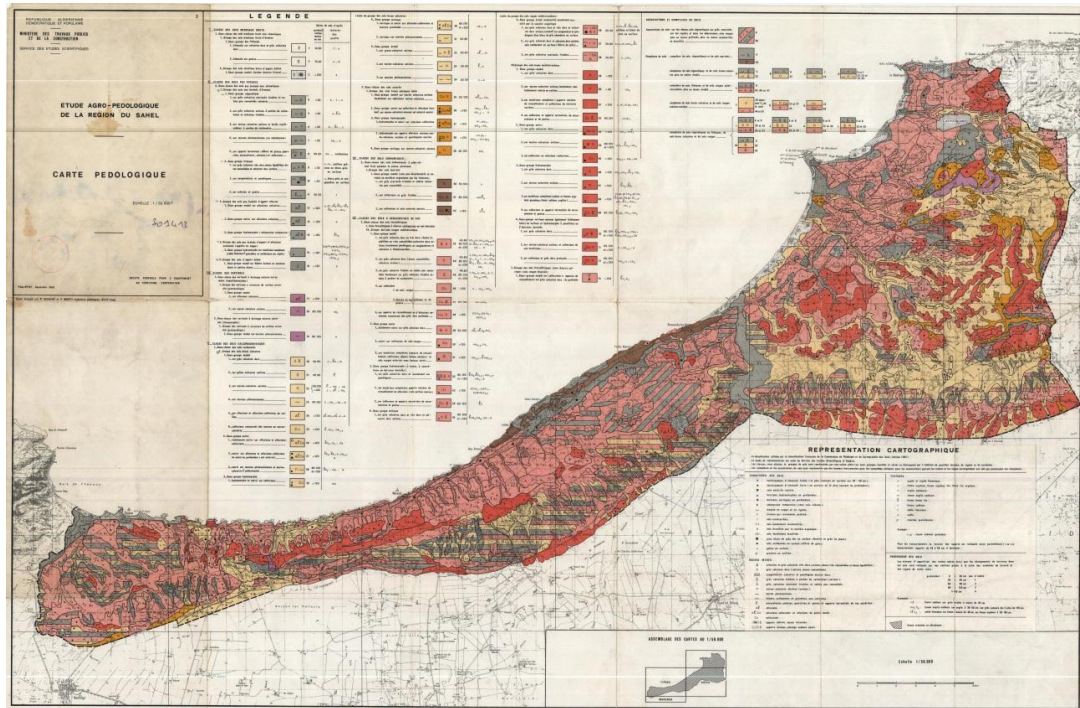
Nous avons pris la zone de Tipaza comme exemple pour une application de la méthode sur l'ensemble des parcelles. Dans cet exemple nous disposons de quatre cartes géo référencées.

-Une carte pour l'obtention des données sols des échantillons déterminés préalablement sur Google Earth Pro.,

-Et trois cartes pour la détermination de répartitions des vocations (céréale, maraichage et arboriculture). Le choix des parcelles étudiées était représentatif de la zone. Notre intérêt est porté essentiellement sur la céréaliculture d'une part pour l'enjeu stratégique que représente cette culture en Algérie et d'autre part pour la nécessité temporelle de notre travail. Ainsi deux cartes ont été utilisées pour notre exemple.

- La première carte est de type pédologique de la région de Tipaza qui date de 1969. C'est sur le plan granulométrique (aspect textural) des différentes parcelles qui est pris comme échantillon d'étude pour évaluer l'effort de résistance à la traction. Cette carte nous a renseignées également sur les profondeurs des différents sols étudiés.
- La deuxième carte nous a permis de délimiter la zone d'étude et l'emplacement des parcelles à afin de s'assurer que nous sommes dans un périmètre céréalier.

L'exploitation des deux cartes a pour but d'évaluer l'effort de résistance à la traction des outils aratoires lors des opérations de travail du sol tels que le labour, la reprise du labour et les façons superficielles. Ensuite avec l'outil SIG tel que Q-GIS ou bien avec un outil de dessin technique pour pouvoir caller et superposer les cartes.



Carte 6 : Carte pédologique Tipaza 1969.



Carte 7 : Potentialités céréalières de la wilaya de typaza

La superposition des deux cartes (6 et 7) nous a permis de procéder à un tracé. La superposition est possible avec un GIS, avec un outil de dessin (DAO) mais encore directement sur Google Earth Pro. A noter que les cartes utilisées sont géo référencées dans le système UTM Nord Sahara 1959.

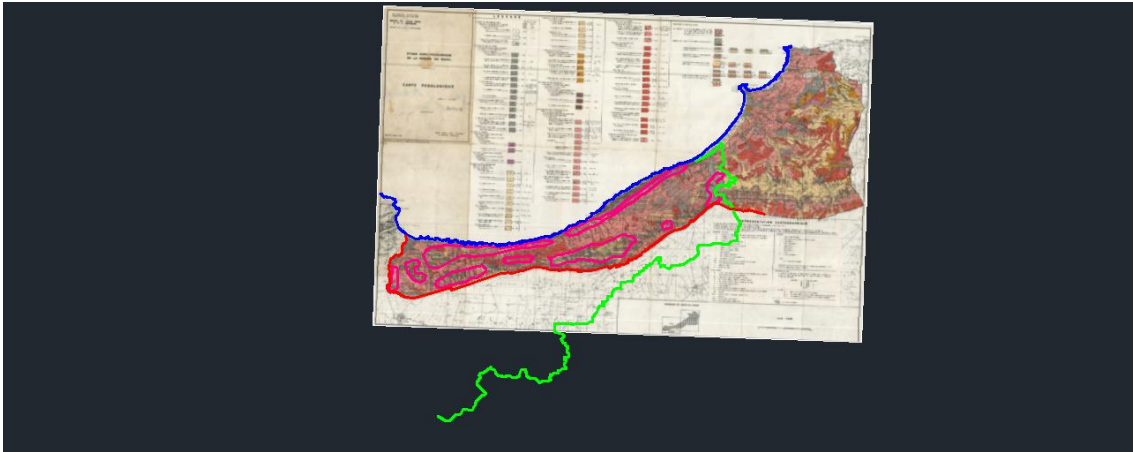


Figure 38 : Tracer obtenu après superposition des cartes 6 et 7

La figure suivante et une image satellitaire obtenue avec Google Earth Pro sur laquelle nous avons calé la carte pédologique de Tipaza de 1969 dans le but de tracer le contour du périmètre d'étude et aussi pour vérifier les tracés fait sur les autres outils (DAO et SIG).

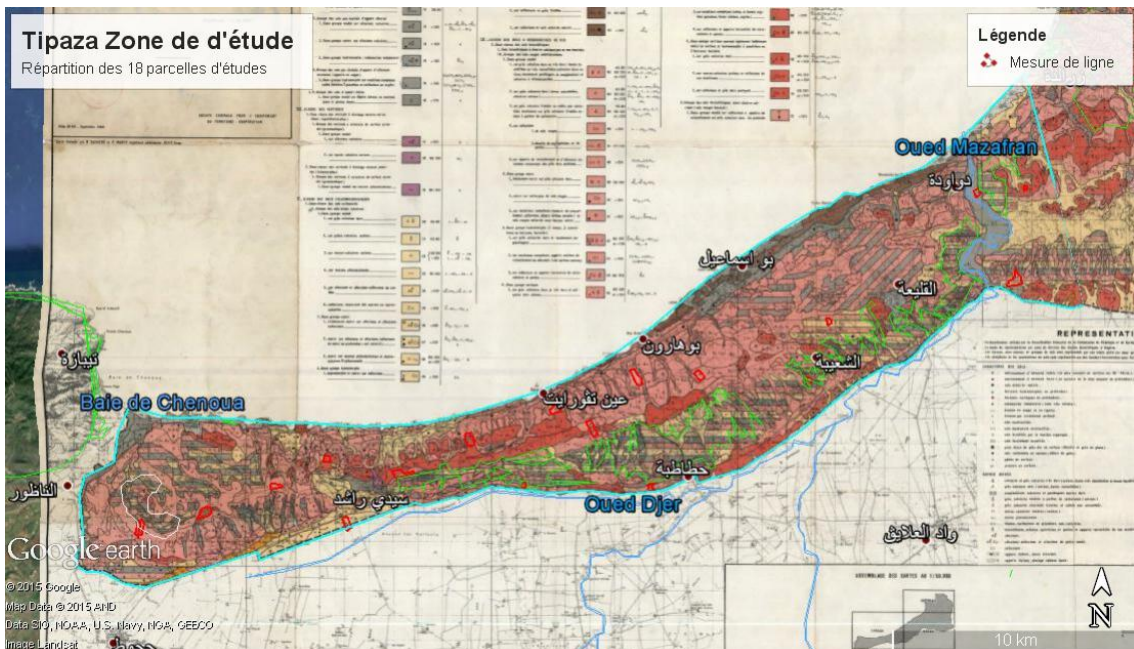


Figure 39 : Image Google Earth Pro de la Zone d'étude avec la carte Pédologique de Tipaza 1969.



Figure 40 : Image Google Earth Pro de la Zone d'étude avec Tracé du périmètre.

Le choix des parcelles pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction des trois opérations du travail défini pour celle-ci s'est fait sur Google Earth Pro dans la zone concernée par notre étude. L'image suivante est une image satellitaire d'un tracé d'une parcelle qui a été prise en exemple.



Figure 41 : Image Google Earth Pro avec le Tracé d'une parcelle. (Badouna, B. 2015)

Une fois la parcelle délimitée par un contour ou un tracé nous notons la surface de la parcelle ainsi que ses coordonnées géographiques sur Google Earth Pro. Les coordonnées prélevées sont en WGS 85.

L'activation de la carte pédologique de Tipaza déjà calé sur Google Earth Pro nous donne la possibilité de connaître la texture de chaque parcelle ainsi que la profondeur de celle-ci. Informations intéressantes car elles influent sur l'intensité de l'effort de résistance à la traction.

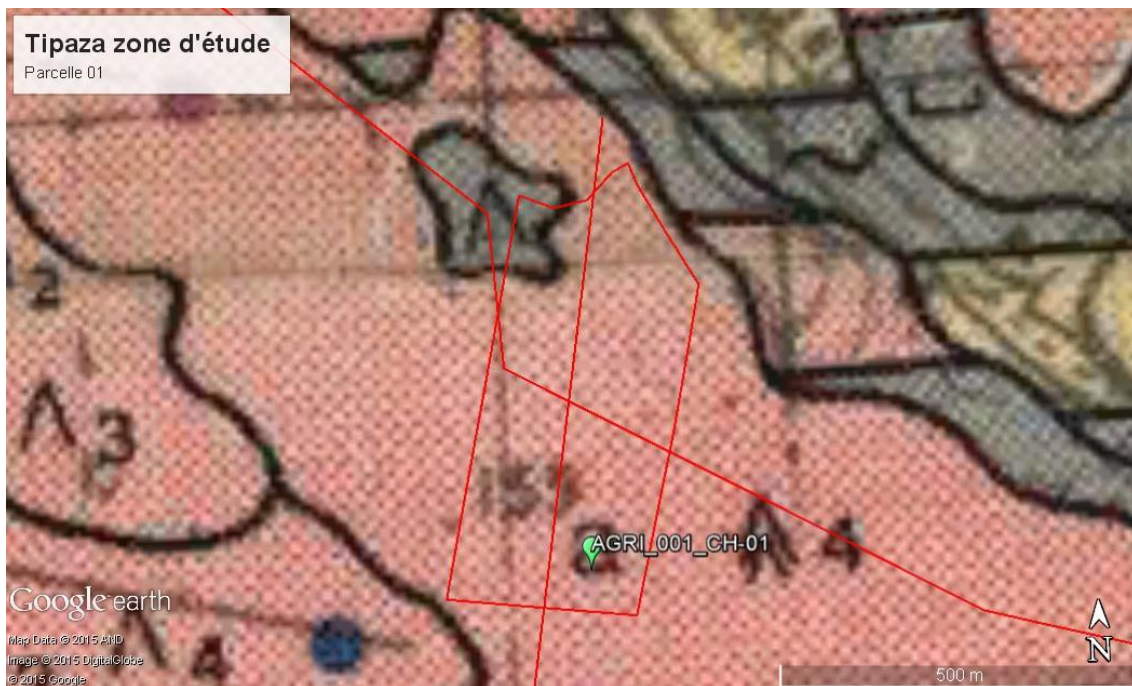


Figure 42 : Image Google Earth Pro d'une parcelle caler sur la carte des sols de la wilaya de Tipaza (Badouna, B. 2015)

Nous remarquons qu'une partie de la wilaya de Tipaza peut faire l'objet de notre étude sur la base de calculs sur les efforts de traction par l'application des modèles mathématiques choisis à cet effet.

Le résultat de ces calculs sera projeté sur une nouvelle carte afin de visualiser la répartition de ces efforts de traction sur la zone ainsi que l'énergie nécessaire pour les travaux et opérations correspondantes à ces efforts de traction.

Tous les résultats obtenus ainsi que les données ou cartes intermédiaires seront projetés sur Google Earth afin d'avoir une vision globale de la répartition dans la zone d'étude ; mais aussi pour pouvoir observer les paramètres liés à la topographie.

La répartition des parcelles dans la zone de Tipaza sur Google Earth Pro nous a permis de travailler sur la carte des sols de Tipaza après calage de celle-ci sur Google Earth Pro pour identifier certains paramètres nécessaires à l'évaluation de l'effort de résistance à la traction pour chaque opérations du type de travail du sol préconiser pour une culture de céréale.

Le tableau suivant affiche les données sols pour chaque parcelle étudiée obtenue à partir de la carte pédologique de Tipaza.

Tableau 40 : Coordonnées et données nécessaires à l'évaluation de l'effort

Num écht	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Abscisse</u>	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Ordonnée</u>	Texture	Profondeur	Pente	Surface
AGRI 01	448734.00	4045070.00	ARGILE	>120 cm	O	15,2 Ha
AGRI 02	457119.00	4045463.00	Argile Limoneuse	30 cm	N	11 Ha
AGRI 03	464317.00	4047000.00	Limon Argilo- sableux	30 cm	N	3,84 Ha
AGRI 04	482869.00	4058708.00	Limon	50-80 cm	O	6,43 Ha
AGRI 05	484325.00	4055114.00	Limon Argileux	30 cm	O	19 Ha

Source : Analyse des cartes : Badouna, B. 2015

17.3.2- Evaluation de l'effort de traction et l'énergie dans les parcelles choisies

Les résultats obtenus des évaluations faites avec les modèles utilisés par le programme informatique sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 41 : Résultats des évaluations des efforts de traction, puissances et énergies

Num écht	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Abcisse</u>	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Ordonnée</u>	Ft min	Ft max	Puissance	Energie
AGRI 01	448734.00	4045070.00	Ft _{Lr01Mn} , Ft _{Hr01Mn} , Ft _{RLr01Mn} , Ft _{TrS01Mn}	Ft _{Lr01Mx} , Ft _{RLr01Mx} , Ft _{TrS01Mx} , Ft _{Hr01Mx}	P _{Lr01Mx} , P _{RLr01Mx} , P _{TrS01Mx} , P _{Hr01Mx}	E _{Lr01Mx} , E _{RLr01Mx} , E _{TrS01Mx} , E _{Hr01Mx}
AGRI 02	457119.00	4045463.00	Ft _{Lr02Mn} , Ft _{RLr02Mn} , Ft _{TrS02Mn} , Ft _{Hr02Mn}	Ft _{Lr02Mx} , Ft _{RLr02Mx} , Ft _{TrS02Mx} , Ft _{Hr02Mx}	P _{Lr02Mx} , P _{RLr02Mx} , P _{TrS02Mx} , P _{Hr02Mx}	E _{Lr02Mx} , E _{RLr02Mx} , E _{TrS02Mx} , E _{Hr02Mx}
AGRI 03	464317.00	4047000.00	Ft _{Lr03Mn} , Ft _{RLr03Mn} , Ft _{TrS03Mn} , Ft _{Hr03Mn}	Ft _{Lr03Mx} , Ft _{RLr03Mx} , Ft _{TrS03Mx} , Ft _{Hr03Mx}	P _{Lr03Mx} , P _{RLr03Mx} , P _{TrS03Mx} , P _{Hr03Mx}	E _{Lr03Mx} , E _{RLr03Mx} , E _{TrS03Mx} , E _{Hr03Mx}
AGRI 04	482869.00	4058708.00	Ft _{Lr04Mn} , Ft _{RLr04Mn} , Ft _{TrS04Mn} , Ft _{Hr04Mn}	Ft _{Lr04Mx} , Ft _{RLr04Mx} , Ft _{TrS04Mx} , Ft _{Hr04Mx}	P _{Lr04Mx} , P _{RLr04Mx} , P _{TrS04Mx} , P _{Hr04Mx}	E _{Lr04Mx} , E _{RLr04Mx} , E _{TrS04Mx} , E _{Hr04Mx}
AGRI 05	484325.00	4055114.00	Ft _{Lr05Mn} , Ft _{RLr05Mn} , Ft _{TrS05Mn} , Ft _{Hr05Mn}	Ft _{Lr05Mx} , Ft _{RLr05Mx} , Ft _{TrS05Mx} , Ft _{Hr05Mx}	P _{Lr05Mx} , P _{RLr05Mx} , P _{TrS05Mx} , P _{Hr05Mx}	E _{Lr05Mx} , E _{RLr05Mx} , E _{TrS05Mx} , E _{Hr05Mx}

Source : Résultats des Calculs de l'énergie : Badouna, B. 2015

Les résultats doivent, dans un premier temps, être comparés aux consommations horaires correspondantes. Et dans une deuxième mesure et après enregistrement des données calculées dans la base de données, un fichier informatique en format .xls ou .xlsX permettra l'utilisation des résultats dans un système d'information géographique dans un but d'établir une carte de la répartition des énergies.

Les efforts calculés pour les parcelles Tests dans un système de travail conventionnel (ou classique) sont l'effort de l'opération Labour, Reprise de Labour, Travail superficiel et Hersage. Ex : Ft_{Lr01Mn} , Ft_{RLr01Mn}, Ft_{TrS01Mn}, Ft_{Hr01Mn}.

Sachant que $P \text{ (Watt)} = Ft \text{ (N)} \cdot v \text{ (m/s)}$ $1 \text{ watt} = 1N.m / s$ et connaissant la vitesse de travail de chaque opération P_{Lr01Mx} , $P_{RLr01Mx}$, $P_{TrS01Mx}$, P_{Hr01Mx} sont calculés à leur tour. Et enfin la puissance est convertie en énergie en utilisant la conversion $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$. Aussi $1 \text{ Watt (W)} = 0,239 \text{ cal/s}$ et $1 \text{ Calorie (cal)} = 4,18 \text{ Joules}$.

Tableau 42 : Efforts de traction des opérations du travail du sol dit classique, puissances correspondantes et énergie nécessaire pour l'ensemble du travail.

Num	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Abscisse</u>	UTM [Nord Sahara 1959] <u>Ordonnée</u>	Ft min [daN] Gorjaschkin Amara GeeClough Boubrit	Ft max [daN] Gorjaschkin Amara GeeClough Boubrit	Puissance [Cv]	Energie [GJ] [Tep]
AGRI 01	448734.00	4045070.00	G [538,13] A[366,64]. GC[720,98] B[131,84]	G [950,60] A[675,42]. GC[720,98] B[131,84]	G [31] A[22,04]. GC[29,41] B[6]	[12,12] [0,29]
AGRI 02	457119.00	4045463.00	G [188,13] A[435,16]. GC[789,65] B[131,85]	G [381,85] A[767,95]. GC[789,65] B[131,85]	G [12,46] A[25,06]. GC[32,21] B[6]	[13,78] [0,33]
AGRI 03	464317.00	4047000.00	G [188,13] A[466,16]. GC[892,64] B[131,84]	G [381,85] A[727,53]. GC[892,64] B[131,84]	G [12,46] A[23,74]. GC[36,41] B[6]	[14,15] [0,34]
AGRI 04	482869.00	4058708.00	G [319,38] A[435,16]. GC[823,98] B[131,85]	G [600,60] A[687,12]. GC[823,98] B[131,85]	G [19,60] A[22,42]. GC[33,61] B[6]	[13,27] [0,32]
AGRI 05	484325.00	4055114.00	G [188,13] A[435,16]. GC[755,31] B[131,85]	G [381,85] A[687,12]. GC[755,31] B[131,85]	G [12,46] A[22,42]. GC[30,81] B[6]	[13,03] [0,31]

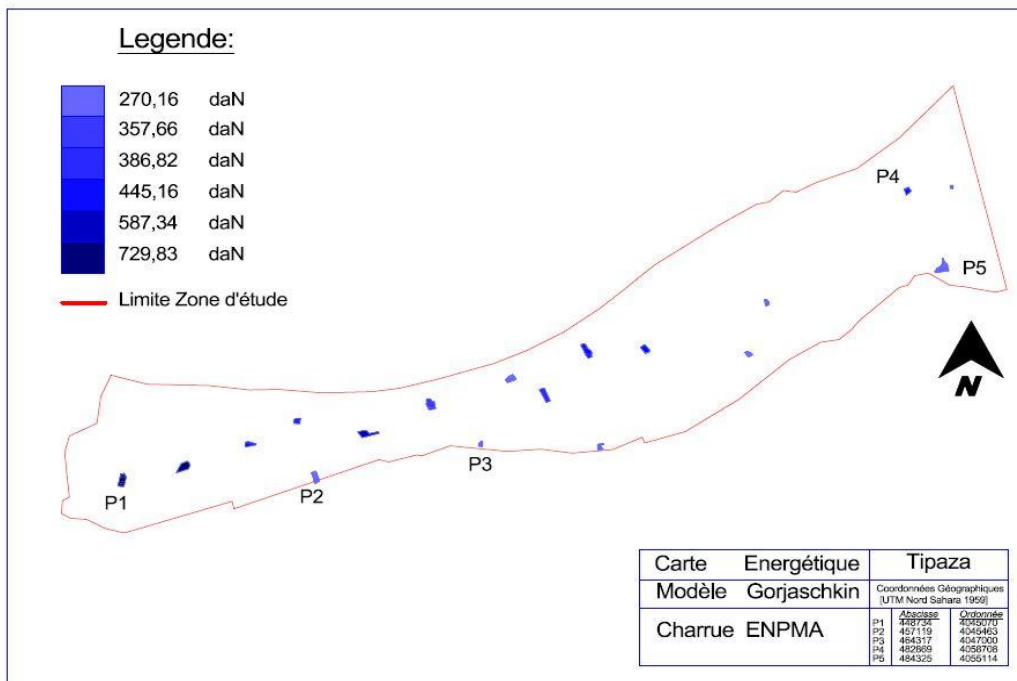
Source : Résultats des Calculs de l'énergie : Badouna, B. 2015

17.3.3- Etablissement d'une carte de l'énergie pour la zone d'étude

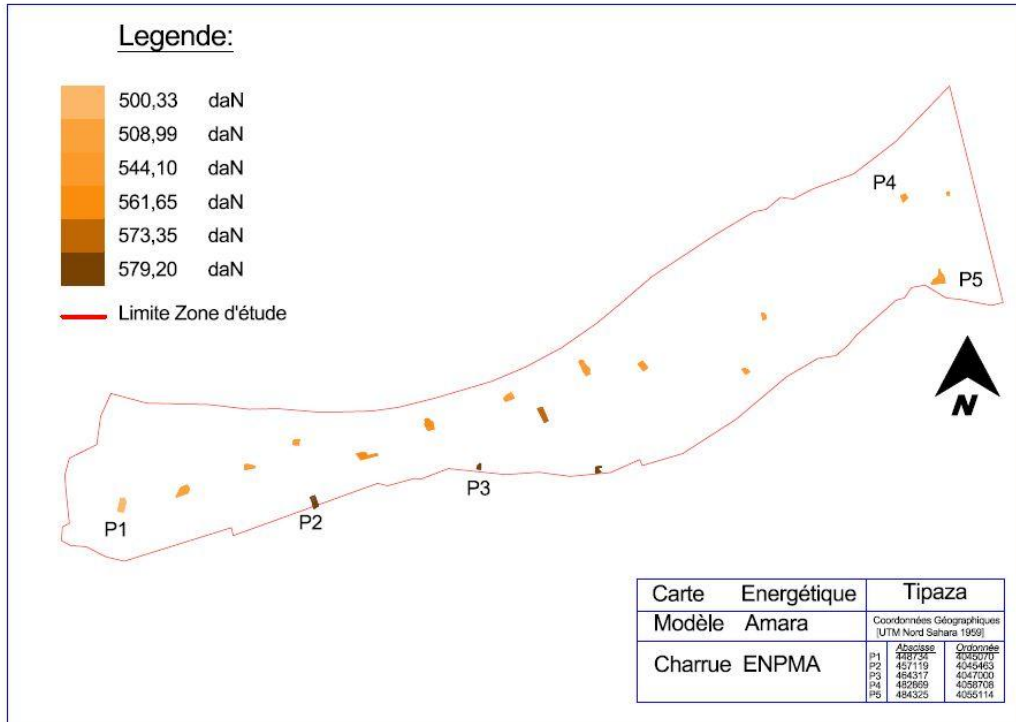
Une fois les évaluations de l'effort de résistance à la traction et des énergies correspondantes établis, nous avons projeté ces informations (données) sur une carte afin

d'établir la répartition des besoins en énergie pour cette zone. L'évaluation de l'effort de traction et de l'énergie étant faite par le programme informatique, l'exportation du fichier obtenu par ce programme vers un autre logiciel SIG dans notre cas Q-GIS. Ce dernier nous permet l'établissement des cartes et la gestion de ces informations géographiquement référencé.

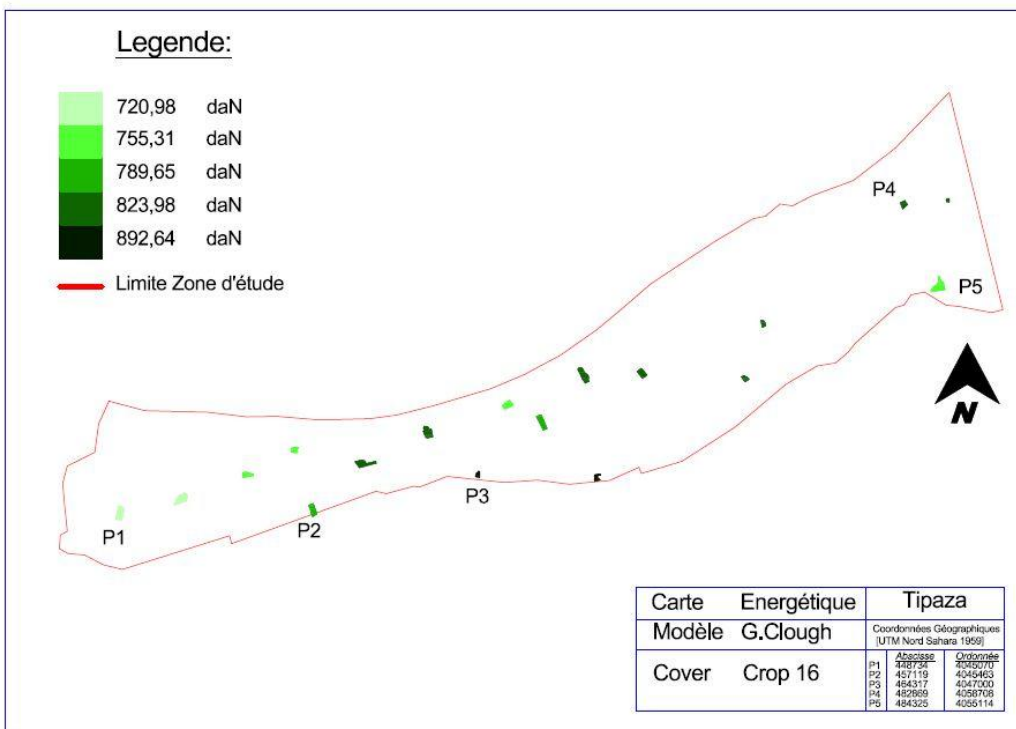
Toute fois les données obtenues dans les exemples présentés si dessus étant peu nombreuse il nous a été permis d'établir les cartes suivantes des besoins énergétiques de chacune des parcelles étudiées. Cela étant possible pour les exemples pris pour la présentation de notre travail de thèse. Il deviendra impossible une fois qu'augmentera la collecte des données et les évaluations correspondantes. L'établissement des cartes manuellement avec un DAO deviendra pénible. L'utilisation d'un SIG est indispensable et plus pratique et rapide. Sachant que les SIG sont des outils de gestion ils nous permettront d'apprécier l'évolution des différents paramètres (nombre et qualité des tracteurs, nombre et qualité des machines agricoles, les efforts de tractions et les puissances et les énergies).



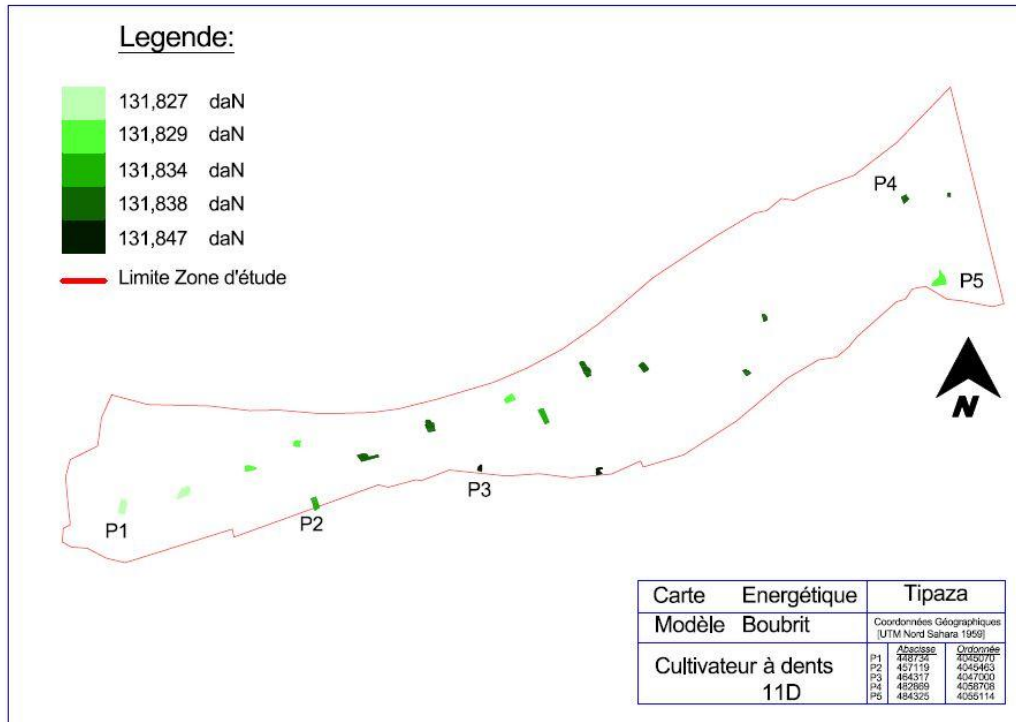
Carte 8 : carte de répartition des efforts de traction d'une Charrue ENPMA évaluer avec le Modèle GORJASCHKIN.



Carte 9 : carte de répartition des efforts de traction d'une Charrue ENPMA évalué avec le Modèle AMARA.



Carte 10 : Carte de répartition des efforts de traction d'un CoverCrop évalué avec le Modèle GeeClough.



Carte 11 : Carte de répartition des efforts de traction d'un Cultivateur à dents évaluer avec le Modèle BOUBRIT.

Les cartes 8, 9, 10 et 11 sont une représentation des efforts de résistance à la traction des outils aratoires utilisés dans les opérations de Labour, Reprise des Labour et des Façons Superficielles, ou chaque carte correspond à une évaluation avec un modèle précis.

Les valeurs obtenues avec le modèle Gorjaschkin sont plus faible que les valeurs obtenues avec le modèle Amara dans les mêmes conditions de travail, les mêmes conditions sols et pour le même outil de labour (charrue à soc ENPMA). L'écart entre les deux modèles diffère d'une parcelle à une autre.

Tableau 43 : Effort Moyen en daN d'une Charrue ENPMA pour les 5 Parcelles

	Parcelle 01	Parcelle 02	Parcelle 03	Parcelle 04	Parcelle 05
Gorjaschkin	729,53	270,16	270,16	445,16	270,16
Amara	500,33	579,20	579,20	544,10	544,10
Ecart	229,20	309,04	309,04	98,94	273,94

Source : Résultats des Calculs d'efforts par Badouna, B. 2015

La comparaison des résultats obtenus pour les parcelles étudiées avec le modèle Gorjaschkin on remarque un très grand écart entre les différentes parcelles d'une même région qui a sensiblement la même texture. Ce modèle nous paraît inadéquat.

Par contre d'après le modèle Amara les écarts trouvés sont très faibles et correspondent au mieux à la texture plus au moins homogène des parcelles localisées dans la région de Tipaza. Ce modèle est le mieux adapté à notre site d'étude d'autant plus les machines-outils utilisées sont de conception locale.

Il est à remarquer que la plus faible valeur de l'effort de résistance à la traction obtenue avec Gorjaschkin dans la parcelle 05 correspond à la valeur la plus élevée obtenue avec le modèle Amara pour la même parcelle et inversement la valeur de l'effort de résistance à la traction la plus élevée obtenue avec le modèle Gorjaschkin dans la parcelle 01 correspond à la valeur la plus faible obtenue avec le modèle Amara pour la même parcelle.

En comparant le classement des efforts de résistance à la traction des parcelles pour le modèle Amara et Gee Clough, on remarque que la parcelle 01 nécessite l'effort le plus faible alors que la parcelle 03 nécessite plus d'effort dans les deux modèles. Pour ce qui est des parcelles 02, 04 et 05 aucune concordance n'est observée.

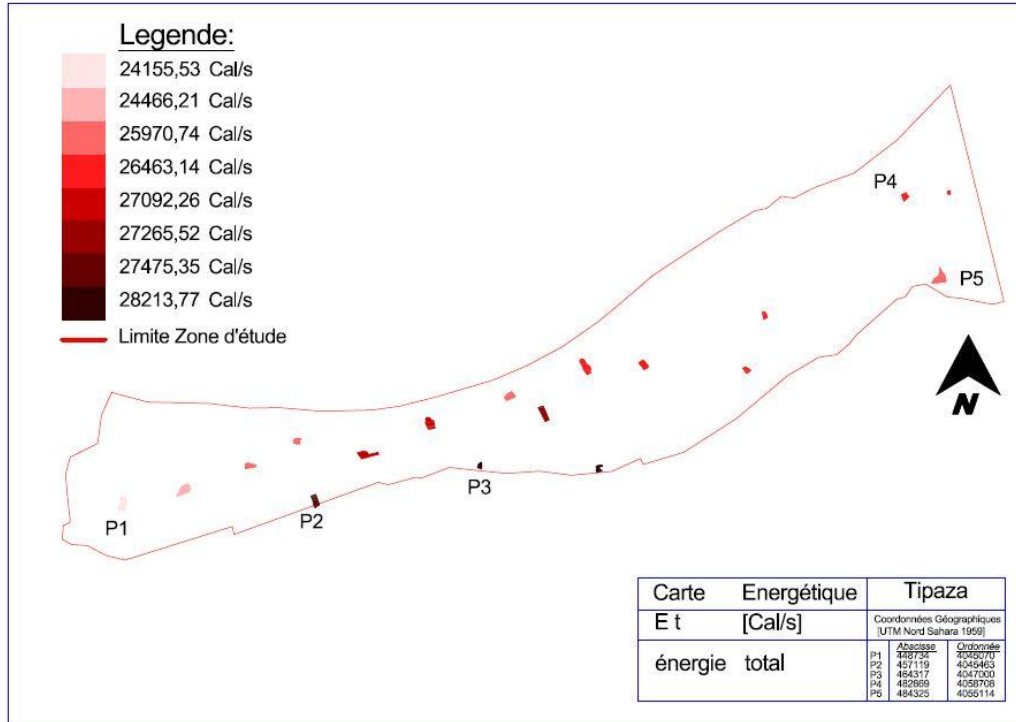
Le modèle Boubrit pour le cultivateur à 11 dents présente des valeurs assez proches. Sachant que l'outil est le même, il nous semble que les conditions du sol ont un faible effet sur l'effort de résistance à la traction évalué avec ce modèle.

Le modèle Binesse pour lequel nous n'avons pas pu élaborer de carte de l'effort de résistance à la traction ni de carte énergétique ; parce que nous avons trouvé des valeurs aberrantes. Il est à noter que certaines valeurs de l'effort sont égales à zéro alors que d'autres sont des valeurs négatives. Cependant nous gardons le modèle pour son utilisation dans le programme informatique.

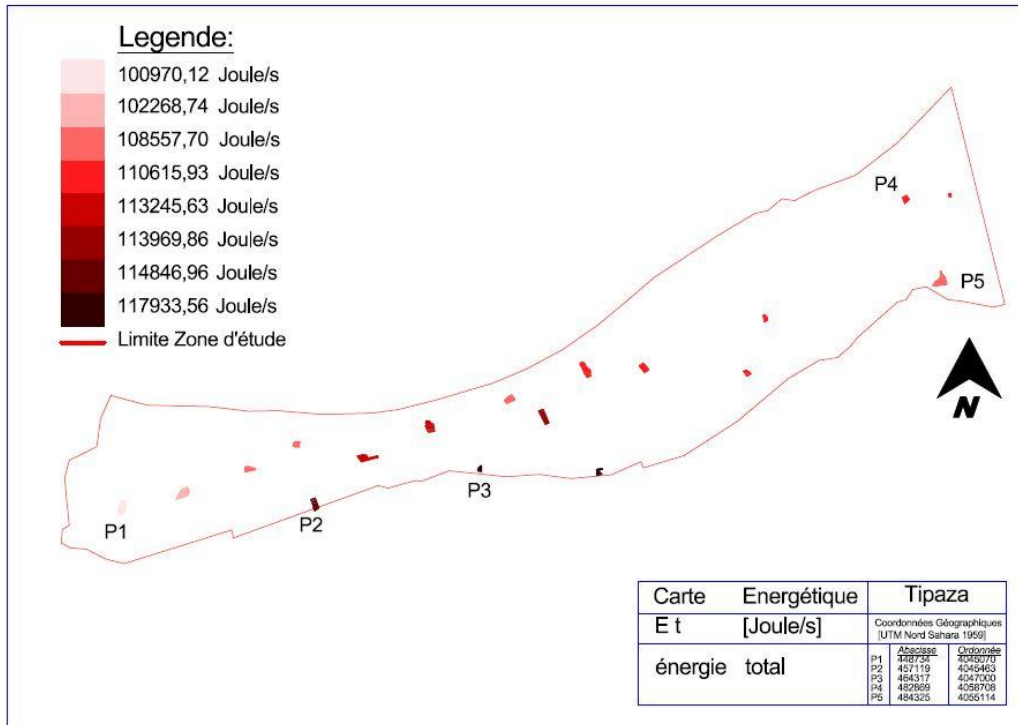
Nous avons limité l'utilisation du modèle Gorjaschkin et Amara aux outils à socs, le modèle Gee Clough aux outils à disques et enfin le modèle Binesse et Boubrit aux outils à dents.

L'utilisation du modèle Amara, Gee Clough et Boubrit suffisent pour l'établissement d'une carte énergétique fiable et cohérente.

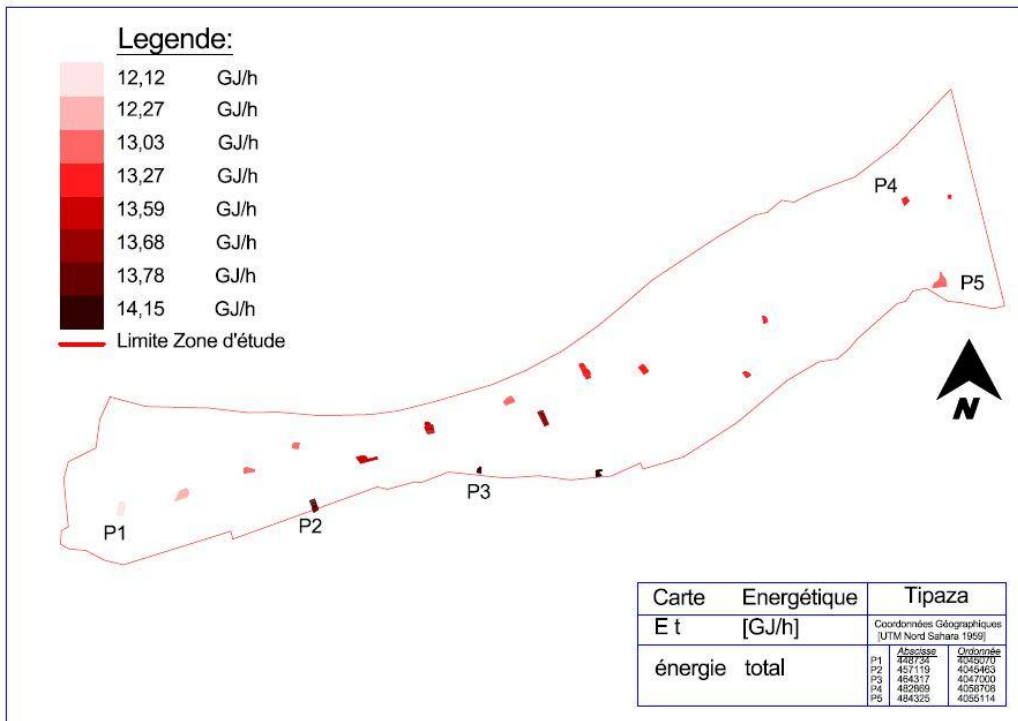
Les cartes énergétiques établies et représentées ci-après expriment la somme des besoins énergétiques des opérations (Labour, Reprise du Labour, Façon superficiel) d'un travail du sol (Classique) pour chacune des parcelles (01, 02, 03, 04, 05).



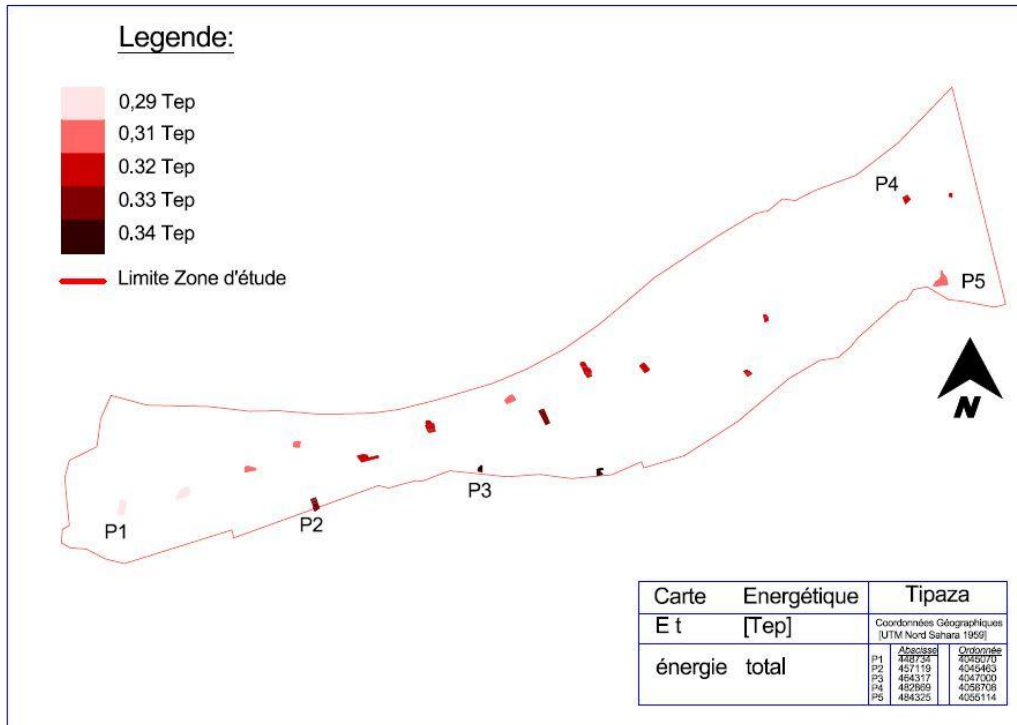
Carte 12 : Carte des besoins Energétiques en Calorie/seconde pour la somme des Trois opérations du travail du sol.



Carte 13 : Carte des besoins Energétiques en Joule/seconde pour la somme des Trois opérations du travail du sol



Carte 14 : Carte des besoins Energétiques en Giga Joule/Heure pour la somme des Trois opérations du travail du sol



Carte 15 : Carte des besoins Energétiques en Tep pour la somme des Trois opérations du travail du sol

Les cinq parcelles représentent une consommation de 1.6 Tonne de gasoil pour une heure de travail.

Nous avons utilisé pour l'évaluation des parcelles étudiées, les outils de travail du sol les plus utilisés en Algérie. Il est difficile de faire une extrapolation des résultats obtenus avec ces parcelles sur la surface agricole totale.

17.4- Exploitation de la carte

Les systèmes d'informations géographiques sont très peu utilisés en agriculture vue son caractère dynamique. Certaines spécialités agronomiques se sont intéressés au SIG telle que la foresterie, l'hydraulique et la pédologie.

La gestion des efforts de résistance à la traction et des énergies des travaux du sol pourra apporter un soutien aux scientifiques pour comprendre la répartition spatiale et temporelle des efforts de résistance à la traction et des énergies correspondantes. Mais aussi de faire ressortir les spécificités des différentes zones d'étude.

Une telle gestion sera un outil de décision pour les ingénieurs Agronomes sur le terrain afin d'équiper les exploitations. D'aider les agriculteurs à choisir les meilleures combinaisons

d'outils de travail du sol pour la mise en place des cultures. Cette gestion énergétique dans l'exploitation agricole est dictée par la tendance Agro Écologique et les récessions économiques de plus en plus fréquentes en Algérie.

Les puissances réparties dans des cartes et gérées avec un SIG permettent l'établissement des stratégies de vente pour la PMA Trading. Afin de raisonner toutes leurs actions commerciales et de cibler efficacement le bon produit dans la bonne zone. Mais surtout de rester à l'avant-garde des tendances et orientations des spécialistes sur le terrain.

L'utilisation de la carte donne aux différents ministères (l'énergie, Agriculture et les Finance) une visibilité sur les besoins énergétiques du secteur Agricole ainsi que la répartition spatiale et dans une certaine mesure temporelle de ces consommations énergétiques du secteur.

Une telle évaluation des énergies et leurs gestion spatio-temporelle offrira aux différents organismes gouvernementaux un outil permettant de nuancer entre l'utilisation des puissances de traction en agriculture pour les travaux de préparation des sols afin d'installer une culture donnée et une utilisation hors secteur agricole type travaux de transports de matériaux de constructions, d'eau potable et non potable, des déchets et ordures urbains et ruraux, etc...

Chapitre 18 : Utilisation du programme D.E.R.T

La méthode intuitive de construction de l'application D.E.R.T nous permet de calculer l'énergie d'un itinéraire technique et de générer une base de données. Après avoir défini les opérations de l'itinéraire technique et rassemblé les informations nécessaires au calcul énergétique, information donnée dans le paragraphe précédent, nous pouvons commencer les opérations de saisie de ces informations, mais avant nous tenons à présenter les différentes composantes du programme D.E.R.T.

D.E.R.T. se compose de plusieurs fiches, la première étant celle de l'accès au programme avec un nom d'utilisateur et un mot de passe. La deuxième est celle de l'accès au serveur. Le chemin d'accès au serveur doit être correctement saisi pour permettre l'accès à la fiche menu du programme D.E.R.T. Cette condition est obligatoire vu que le programme fonctionne dans un réseau local.

Fiche d'accès au programme DERT

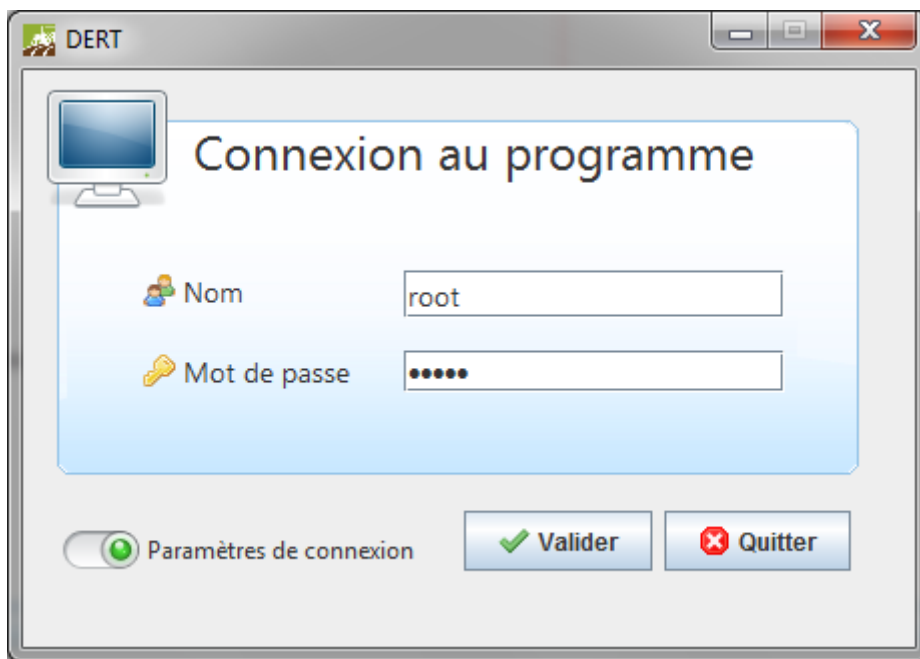


Figure 43 : Fiche connexion au programme

18.1. Fenêtre d'accès au serveur

Cette fiche permet de définir le chemin d'accès au serveur contenant la base de données constitué des tables suivante : T-Agriculteur ; T-Parcelle ; T-Champs ; T-Travaux ; T-Opérations ; T-Tracteurs ; T-Machines ; T-Wilaya ; T-Commune ; T-Vocations ; T-Texture ; T-Sol.

La base de données est partagée par un serveur pour les utilisateurs du programme dans un réseau local. Pour cette raison les utilisateurs doivent avoir la bonne adresse IP d'accès à la base de données pour pouvoir l'exploiter.

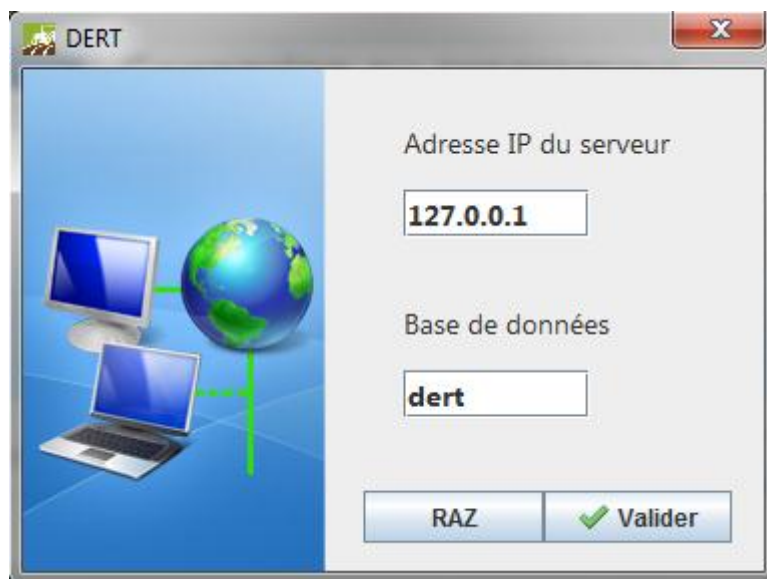


Figure 44 : Fiche configuration d'Adresse IP pour la connexion à la base de données

18.2. Fiche menu

Cette fiche envoie vers deux procédures de calculs, celles des saisies et des calculs pour des exploitations dont on connaît les agriculteurs. La deuxième est celle d'une évaluation de parcelle dont on ne connaît pas le propriétaire. Cette fiche assure la distribution ainsi que l'accès aux fiches du programme informatique D.E.R.T.

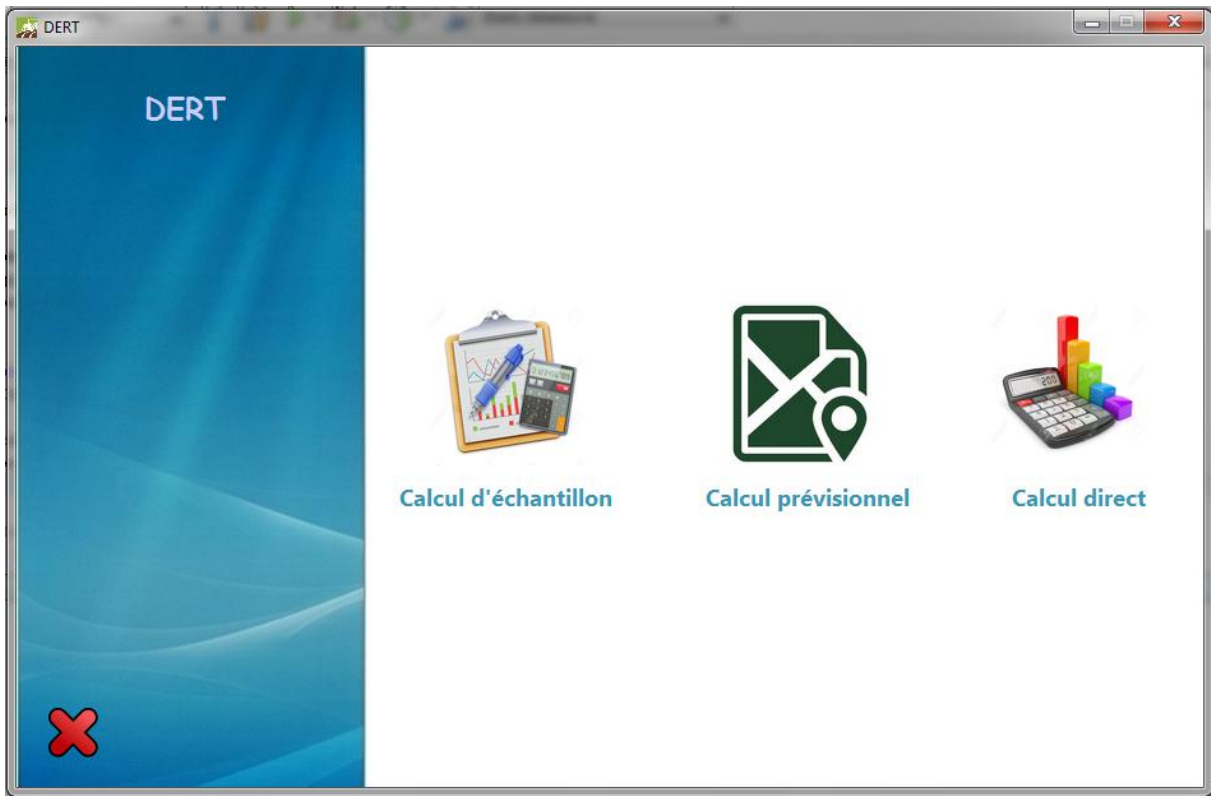


Figure 45 : Fiche menu du programme DERT

Le programme DERT exploite les Tables (T-Travaux ; T-Opérations ; T-Tracteurs ; T-Machines ; T-Wilaya ; T-Commune ; T-Vocations ; T-Texture) pour faire les calculs mais avant il faut saisir les informations sur l'agriculteur et ses parcelles (T-Agriculteur ; T-Parcelle ; T-Champs ; T-Sol).

Les tables de la base de données doivent être enrichies. L'établissement d'une carte énergétique dépend de la quantité d'information récolté et des calculs établis.

Dans cette fiche le choix d'un type de procédure permet de commencer d'identification des données pour effectuer un calcul. La procédure échantillon est une identification de l'agriculteur ; de la parcelle de celui-ci et en suite le champ dans le quelle l'énergie est calculer.

Il est possible de calculer des besoins en énergie d'un champ sans la détermination préalable de l'agriculteur propriétaire. Cette fiche envoie aussi vers une utilisation directe d'un modèle de calcul existant dans la base de données pour une quelconque simulation à titre pédagogique.

18.3. La fiche Agriculteur

La fiche Agriculteur donne accès à la Table Agriculteur pour la gérée. Cette fiche permet de recenser les agriculteurs dans les zones d'étude et de les classer par commune. L'utilisation du programme DERT permettra de générer cette Table.

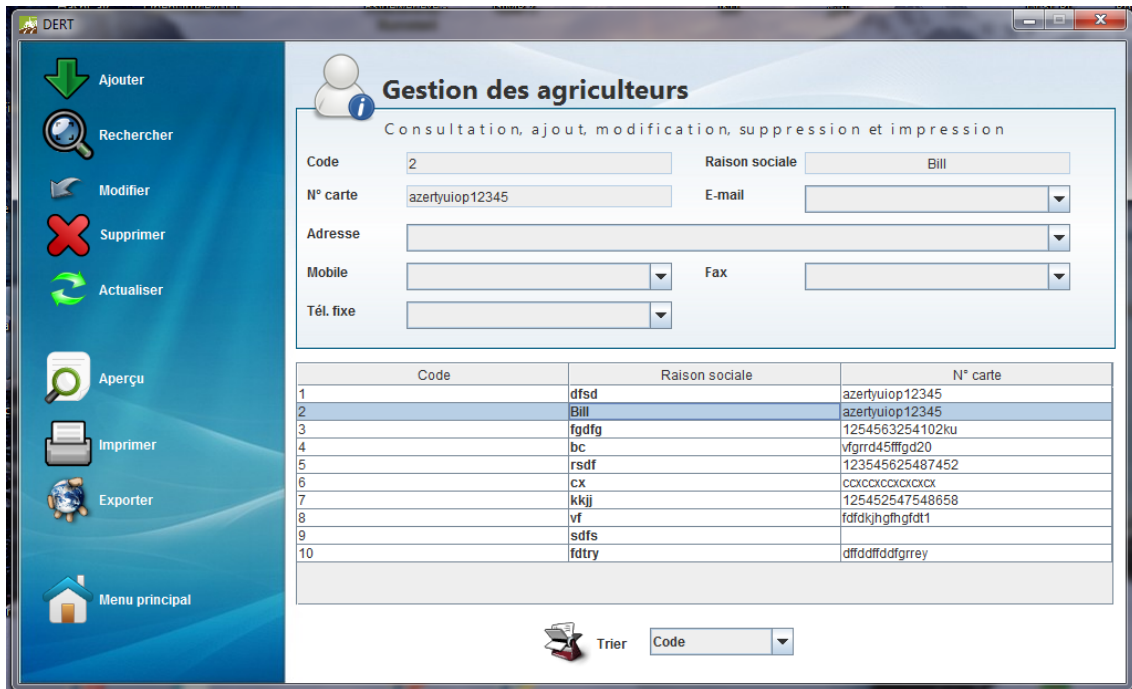


Figure 46 : Fiche de gestion des Agriculteurs

Les figures suivantes permettent de recenser quelles que actions rendues possibles par les 9 boutons (Ajouts ; Recherche ; Modifier ; Supprimer ; Actualiser ; Aperçus ; Imprimer ; Exporter ; Menu Principale). Les actions citées existent toutes ou en partie dans les autres fiches du programme informatique.

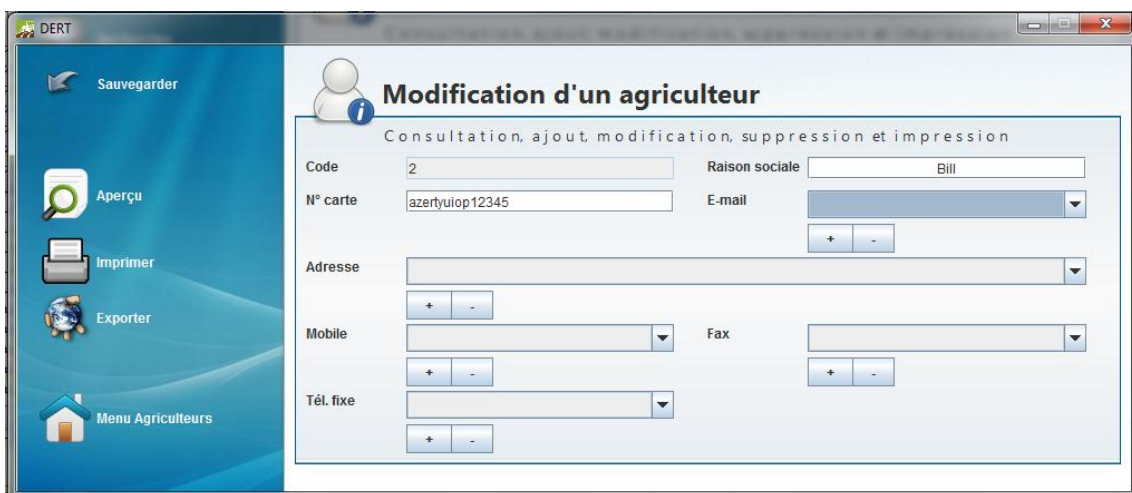


Figure 47 : Fiche Modification d'un Agriculteur

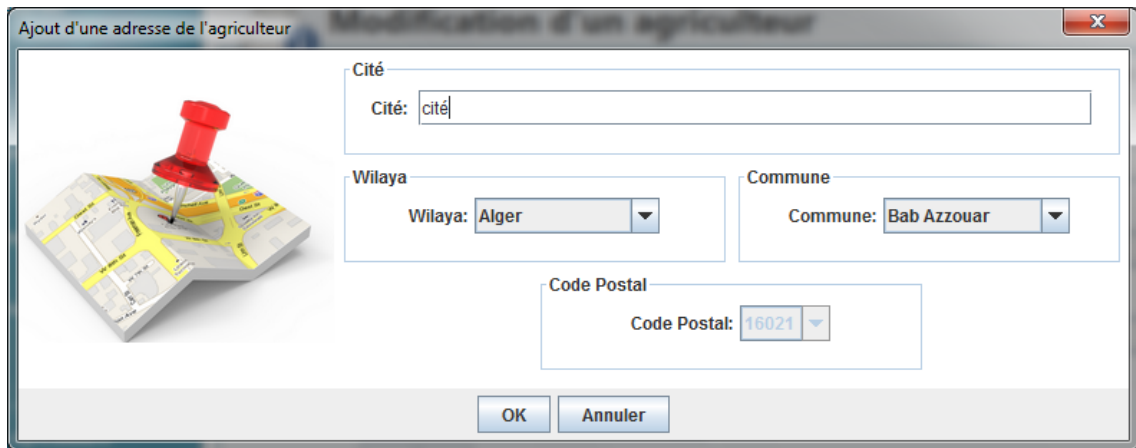


Figure 48 : Fiche Ajout d'Adresse Agriculteur.

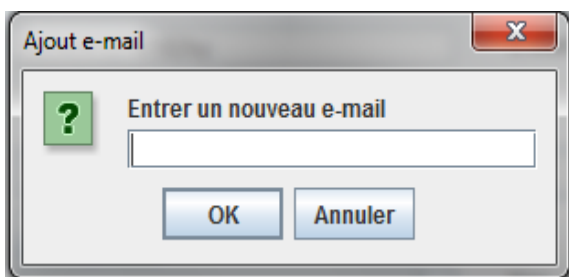


Figure 49 : Fiche Ajout e-mail

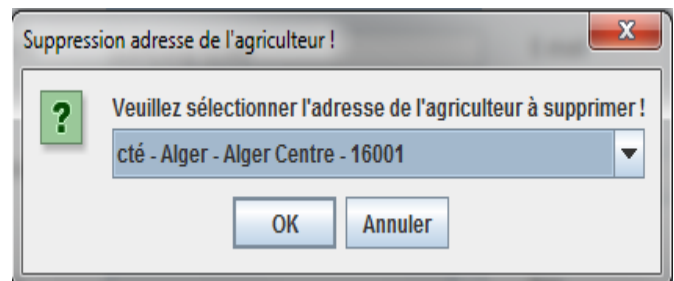


Figure 50 : Fiche Suppression Adresse Agriculteur

18.4. La fiche parcelle

Nous présentons trois fiches liées à la table Parcelle. La première fiche permet l'acquisition des données ou d'informations relatives à la parcelle. Donc création d'une nouvelle Parcelle.

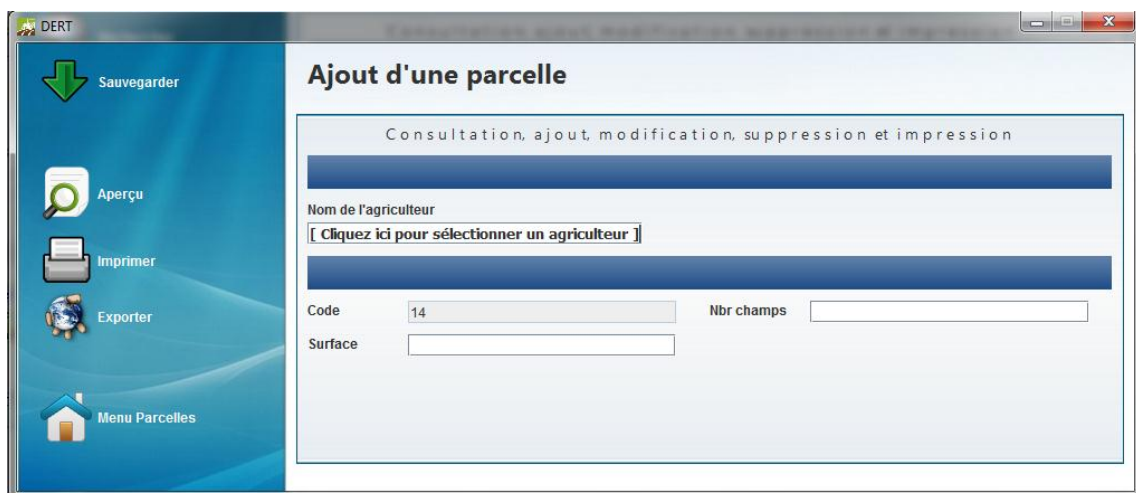


Figure 51 : Fiche Ajout d'une Parcelle

La fiche suivante permet de choisir l'agriculteur propriétaire de la parcelle à ajouter.

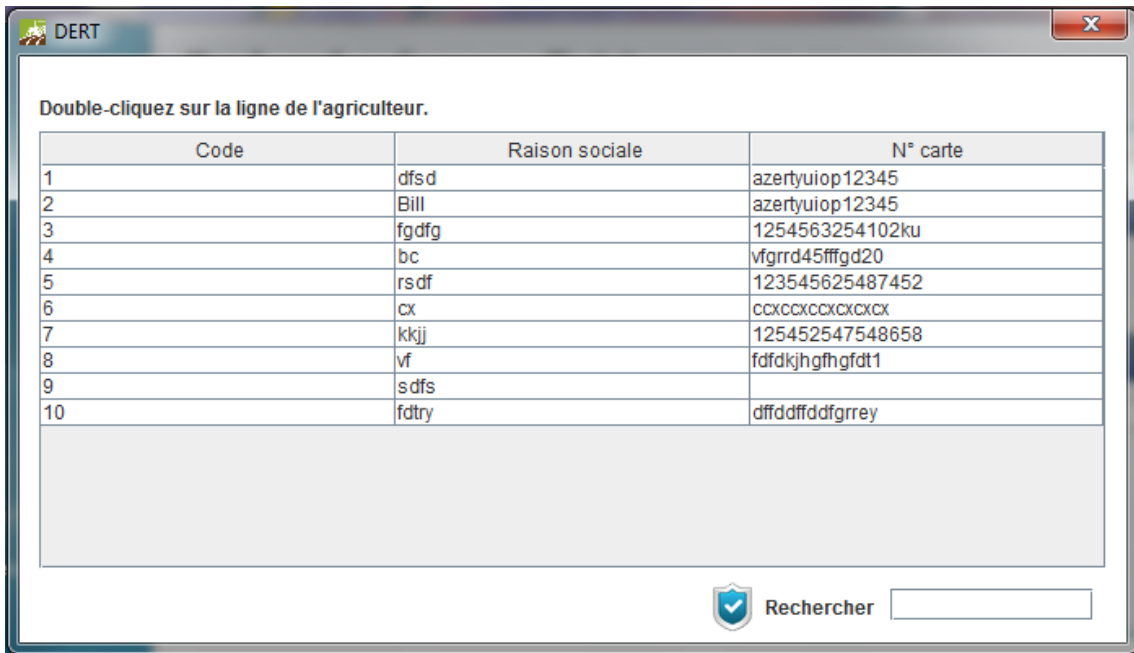


Figure 52 : Fiche Choix Agriculteur pour une Parcelle

La fiche ci-dessous gère les parcelles Comme pour la fiche Agriculteur. Les fiches Agriculteur et Parcelle nous permettrons de recenser les informations liées aux entités Agriculteur et parcelle pour une éventuelle analyse de la base de données.

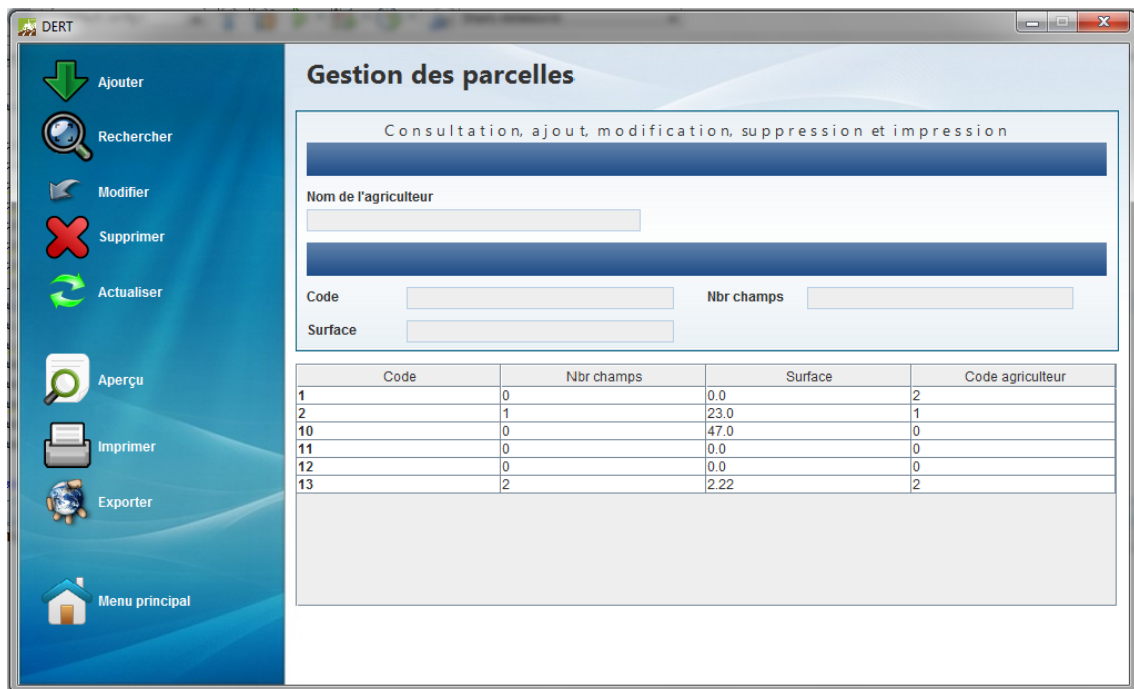


Figure 53 : Fiche Gestion des Parcelles

A- Les champs de saisies

Les champs de saisie dans cette fiche permettrons de connaitre l'agriculteur propriétaire de la parcelle ; la surface de la parcelle ; le nombre de champs ; et les coordonnées géographiques de la parcelle.

Aussi des renseignements comme l'image satellite de la parcelle ; si elle fait partie d'un périmètre irrigué ou non et le statut juridique de celle-ci.

B- Les boutons

Comme pour toutes les fiches de gestion 9 boutons permettrons (Ajouts ; Recherche ; Modifier ; Supprimer ; Actualiser ; Aperçus ; Imprimer ; Exporter ; Menu Principale)

18.5. La fiche champs

Cette fiche liée directement au calcul de l'effort de résistance à la traction et des besoins énergétiques des champs composant la parcelle. La collecte des informations relative au champ nous renseigne sur certain caractéristique de celui-ci lors du travail pour l'installation d'une culture donnée dans notre cas le blé. Chaque champ crée d'une parcelle on lui attribue une surface et des caractéristiques sols.

La surface attribuée au champ dépend de la surface de la parcelle et du nombre de champs. La somme des surfaces des champs doit être égale à la surface de la parcelle.

The screenshot shows a web application window titled 'Ajout d'un champs'. On the left is a blue sidebar with icons and labels: 'Sauvegarder' (green arrow), 'Aperçu' (magnifying glass), 'Imprimer' (printer), 'Exporter' (globe), and 'Menu Champs' (house). The main content area has a title 'Ajout d'un champs' and a subtitle 'Consultation, ajout, modification, suppression et impression'. Below this is a form with several input fields:

- 'Code de la parcelle' with a button: 'Cliquez ici pour sélectionner une parcelle'
- 'Code' (text input with '1') and 'Surface' (text input)
- 'Latitude' and 'Longitude' (text inputs)
- 'Altitude' (text input), 'Irriguée' (dropdown menu), and 'Pentes' (dropdown menu)
- 'Nombre de pentes' (text input) and 'Pourcentage' (text input)
- 'Code de la texture' (text input) and 'Code du sol' (text input)
- 'Adresse' (text input)

Figure 54 : Fiche Ajout d'un Champs

La Table de la fiche Champ est liée à Table parcelle pour le choix de la parcelle à associée au champ. Elle est aussi liée aux tables Sol et Texture pour la définition des

conditions sol pour l'évaluation de l'énergie nécessaire pour les opérations d'un travail du sol du champ à préparer pour une mise en place d'une culture.

La figure suivante représente une fiche qui permet de choisir la parcelle à associer au champ pour un travail donné.

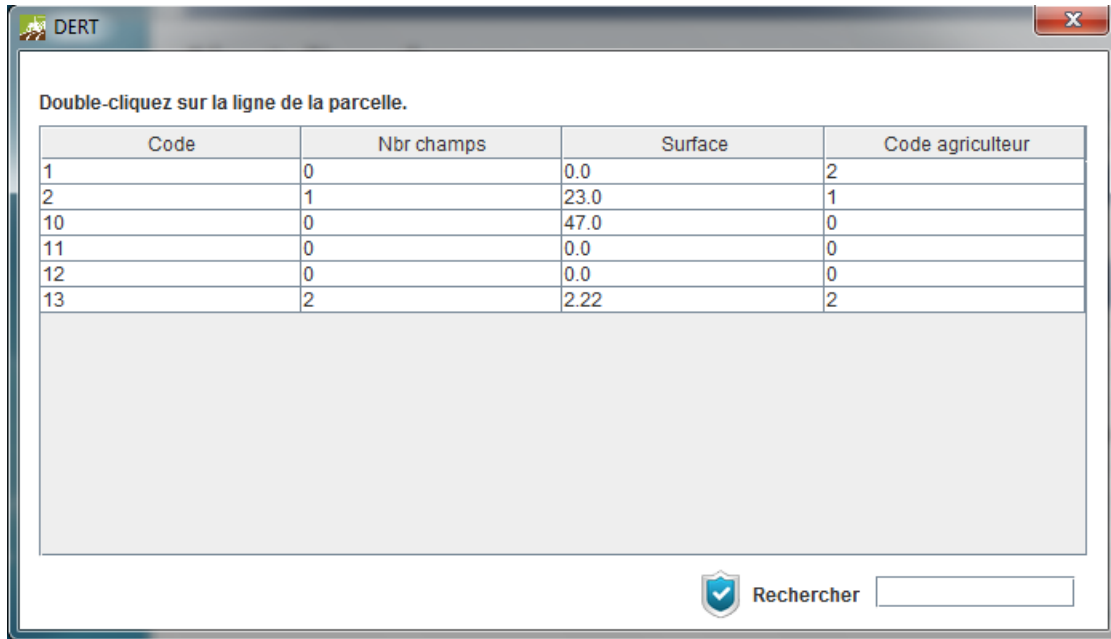


Figure 55 : Fiche Choix d'une parcelle pour un Champ

La figure représentant la gestion des champs comporte les liaisons entre la table champs et les tables Parcelle ; Sol et Texture.

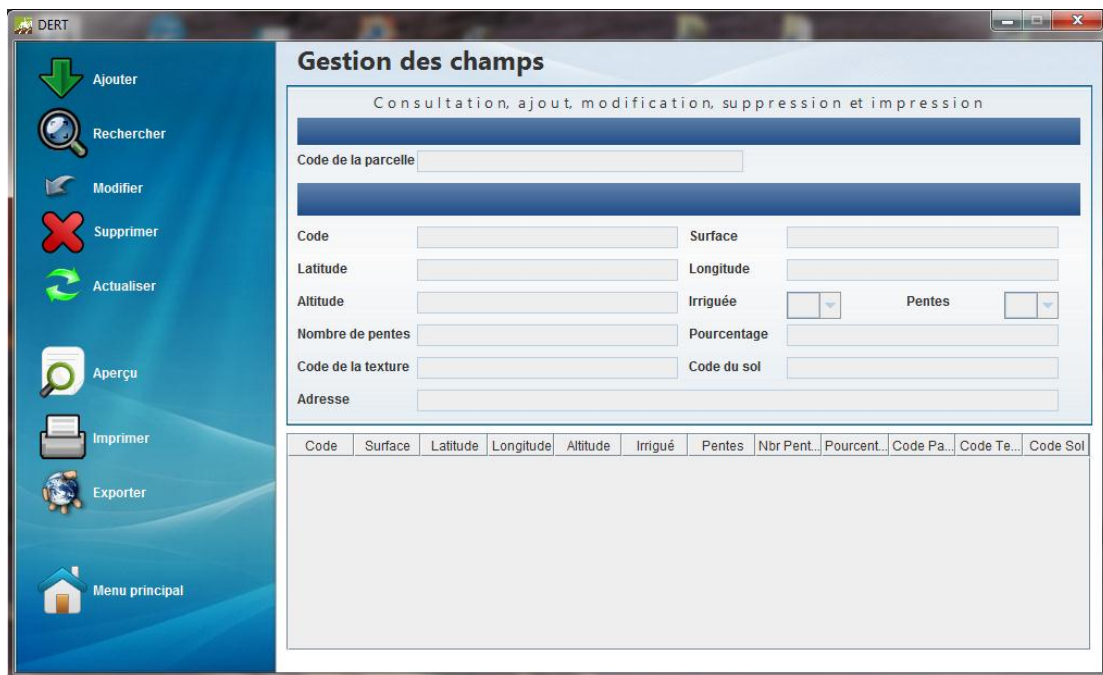


Figure 56 : Fiche Gestion des Champs

Les champs de saisies

Chaque champ doit être géo-référencé et bien renseigné (irrigation ; pentes ; type de sol « texture » ; adresse). Les figures précédentes sont les fiches permettant la gestion des champs.

18.6. La fiche Sol et Texture

Deux tables gérées par les fiches sol et texture contenant les informations sol. Ces informations permettront l'attribution des paramètres liées au sol pour le calcul de l'énergie. Certaines informations de ces deux tables sont des intervalles de valeurs.

Il a été présenté dans les chapitres précédents différentes classifications texturales liées aux à la densité apparente, à la masse volumique, à la cohésion ainsi que les angles de frottement interne du sol. Le tableau 25 dans le chapitre 1 de la III^{ème} partie du document donne des valeurs de la densité apparente du sol, de l'humidité du sol et du cône index d'un certain nombre de textures. Les textures sont exprimées par les pourcentages du sable, limon et argile.

Le tableau suivant est une autre classification liant la texture aux densités apparente. Ces valeurs sont stockées dans la base de données du programme DERT.

Tableau 44 : Densité apparente selon la texture du sol pour une profondeur de 30cm (BAIZE (2000) citant JAMAGNE (1977), MALTERRE et ALBERT (1963))

Appréciation de la terre au toucher	K (résistance spécifique du sol)	Texture		Densité apparente en t/m ³
Très fine	Sols Lourds 60 000 < K < 100 000 (N/m ²)	argileuse lourde	AA	1,35
Très fine		argileuse	A	1,45
Fine		argilo-sableuse	As et AS	1,55
Fine		argilo-limono-sableuse	Als	1,5
Fine		limon-argilo-sableuse	LAS	1,45
Fine		argile-limoneuse et Limon-argileux	Al et La	1,4
Moyenne	Sols Moyens 20 000 < K < 60 000 (N/m ²)	sablo-argileux et sable-argilo-limoneux	Sa et Sal	1,5
Moyenne		limon-sablo -argileuse	Lsa	1,5
Moyenne		limoneuse	L	1,35
Moyenne		limon pur	LL	1,45
Grossière	Sols Légers K < 20 000 (N/m ²)	limon-sableux	Ls	1,45
Grossière		sableuse et sablo-limoneuse	S et Sl	1,4
Très Grossière		sable	SS	1,35

Le tableau suivant est un récapitulatif des paramètres sols collectés dans la documentation scientifique qui nous a permis de trouver des liens entre la densité apparente ; l'angle de frottement interne du sol ; la masse volumique et la cohésion avec la texture du sol. Pour certains paramètres les valeurs sont représentées par un intervalle. Les valeurs du tableau sont la base de données de démarrage. Elle permet une première évaluation de l'énergie dans des conditions générales.

L'utilisation du programme informatique dans les conditions réelles ne fera qu'enrichir la base de données.

Tableau 45 : Valeurs de la densité, l'angle de frottement, cohésion et masse volumique associé à la texture du sol.

Texture		Densité apparente en t/m ³	Angle frottement interne	Cohésion en kg/cm ²	Masse volumique g/cm ³
argileuse lourde	AA	1,2 – 1,7	15 à 24°	Jusqu'à 10	1,05
argileuse	A	1,4 – 1,9	24 à 28°	0,05 à 0,5	1,05
argilo-sableuse	As et AS	1,5 – 1,9			1,10
argilo-limono-sableuse	Als	1,5 – 2,0			1,10
limon-argilo-sableuse	LAS	1,4 – 1,9			1,15
argile-limoneuse et Limon-argileux	Al et La	1,4 – 1,7			1,15
sablo-argileux et sable-argilo-limoneux	Sa et Sal	1,6 - 1,9	30 à 35°	0,1 à 0,3	1,15
limon-sablo -argileuse	Lsa	1,5 - 1,9			1,2
limoneuse	L	1,4 – 1,7	25 à 30°	0,2 à 0,5	1,2
limon pur	LL	1,4 – 1,7	25 à 30°	0,2 à 0,5	1,2
limon-sableux	Ls	1,5 – 1,8			1,4
sableuse et sablo-limoneuse	S et Sl	1,4 – 1,9			1,55
sable	SS	1,6 - 1,8	35 à 40°		1,55

18.7. La fiche Tracteur

Cette fiche existe pour gérer les informations qui concernent le Tracteur. Nous avons au préalable recensé les tracteurs produits en Algérie. Les informations caractéristiques des tracteurs sont enregistrées dans la Table Tracteur afin de générer la base de données et de pouvoir faire appel à un tracteur lors d'un travail.

Les versions du programme DERT Globale, Recherche, Administration centrale, DSA (permettent l'ajout de nouveaux tracteurs). Les versions Etudiants, Pédagogie, Simulation (ne permettent pas l'ajout de nouveaux tracteurs)

Les informations retenues pour la table T-Tracteur de la base de données sont énumérées si dessous dans le tableau suivant et définie plus haut dans le document.

Tableau 46 : Tracteurs de la base de données initiale

Marques	Tracteurs	Puissances	Consommation horaire	Poids
CIRTA	CIRTA 4006	45 cv/32 kw	-	1875 Kg
CIRTA	CIRTA 6807 2x4	68 cv/49 kw	10,6 (L/h)	2550 Kg
Massy Ferguson	MF 415 2x4 et 4x4	46 cv/34,3 kw	-	2030 Kg
Massy Ferguson	MF 440 XTRA 2x4 et 4x4	82 cv	-	3040 Kg
Massy Ferguson	MF 7150 4x4	150 cv	-	-
UMT	UMT 140	140 cv	-	-

Figure 57 : Fiche Gestion des Tracteurs de la Base de Données.**A- Les champs de saisies**

Les tracteurs doivent être consignés dans la table T-Tracteurs de la base de données. Les informations telles que : Puissance ; Consommation horaire ; Consommation spécifique ; Poids du tracteur sont des éléments intéressants pour le recensement.

B- Les outils de navigations

Les actions possible sur la fiche sont représentées par les 9 boutons (Ajouts ; Recherche ; Modifier ; Supprimer ; Actualiser ; Aperçus ; Imprimer ; Exporter ; Menu Principale)

18.8. La fiche Machines Agricoles

Cette fiche existe pour gérer les informations qui concernent les Machines Agricoles. Nous avons au préalable recensé les Machines produites en Algérie. Les informations caractéristiques des Machines sont enregistrées dans la Table Machines Agricoles afin de générer la base de données et de pouvoir faire appel à une Machine lors d'une opération d'un travail.

La Table Machines Agricoles est une composante de notre base de données.

Figure 58 : Fiche Gestion des Machines Agricoles de la Base de Données

Pour certaines machines agricoles une caractérisation liée aux paramètres des modèles de calculs s'impose. Cette caractérisation permettra l'utilisation des modèles Amara et Gorjaschkin et de faire les calculs de l'énergie.

Pour les charrues à socs seule la charrue ENPMA et SACRA sont utilisables avec le Modèle Amara.

Tableau 47 : Caractéristiques des Charrues à Socs ENPMA et SACRA

Caractéristiques Machines	Charrue ENPMA	Charrue SACRA
Profondeur travail (Labour)	0,25m	0,25m
Largeur travail (Outil)	0,35m	0,31m
Nombre corps de charrue	1	1
K	0,714	0,806
K ₁	2,136	1,714
K ₂	1,464	1,290
α_0	29° (0,506 rad)	17° (0,297 rad)
γ_0	38° (0,663 rad)	39° (0,681 rad)
θ_0	35° (0,611 rad)	33° (0,576 rad)
ε (daN.s ² / m ⁴)	150	200
ε	10	1000

Les champs de saisies

La fiche de gestion des Machines Agricoles donne accès à la création et la modification des machines agricoles comme toutes les autres fiches de gestion. Les enregistrements des machines agricoles dans la base de données comprennent toutes les informations permettant d'effectuer les calculs de l'énergie dans un champ agricole. Des informations liées aux modèles mathématiques telles que le Poids de la Machine Agricole ; Profondeur travail ; Largeur ; Vitesse.

Il est important de connaître la Puissance nécessaire que doit d'avoir un tracteur pour effectuer le travail étant associé à la Machine Agricole.

Les boutons

Les actions possible pour la gestion de la fiche Machines Agricoles sont représenté dans les 9 boutons (Ajouts ; Recherche ; Modifier ; Supprimer ; Actualiser ; Aperçus ; Imprimer ; Exporter ; Menu Principal)

18.9. La fiche Calculs

Cette fiche est celle qui nous permet d'exploiter les tables précédemment renseignées par les informations nécessaires et relatives à chacune. Cette fiche nous permet de faire

l'évaluation de l'énergie relative à un travail bien définie comportant des opérations. En associant un Tracteur à une Machine Agricole, cela permettra au programme de calculer et d'afficher la valeur de l'énergie nécessaire à cette opération. Toutes les informations étant saisis, choisis et calculer seront enregistré dans la base de données.

Cette fiche représente la finalité de notre travail. C'est aussi l'aboutissement de cette Thèse. Cette fiche permet d'évaluer l'énergie par deux méthodes. La première méthode est celle de l'effort de résistance à la traction en utilisant les modèles mathématiques. Et la deuxième utilisant la méthode du réservoir plein en s'appuyant sur les informations stockées dans la table Tracteur.

Cette fiche permet l'affichage des résultats de calcul avec une comparaison entre les valeurs données par les deux méthodes d'évaluation.

Les champs de saisies

Dans la fiche calcul il faut sélectionner un travail pour un Champs correspondant à une parcelle, un tracteur de la table Tracteur et une machine agricole de la table Machines Agricoles.

Le type de travail comprenant un nombre d'opérations caractéristique du travail.

Les boutons

Comme pour toutes les fiches de gestion des fiches dans le programme informatique DERT les actions permettant cette gestion sont représentées par 9 boutons (Ajouts ; Recherche ; Modifier ; Supprimer ; Actualiser ; Aperçus ; Imprimer ; Exporter ; Menu Principal)

18.10. Identification travail

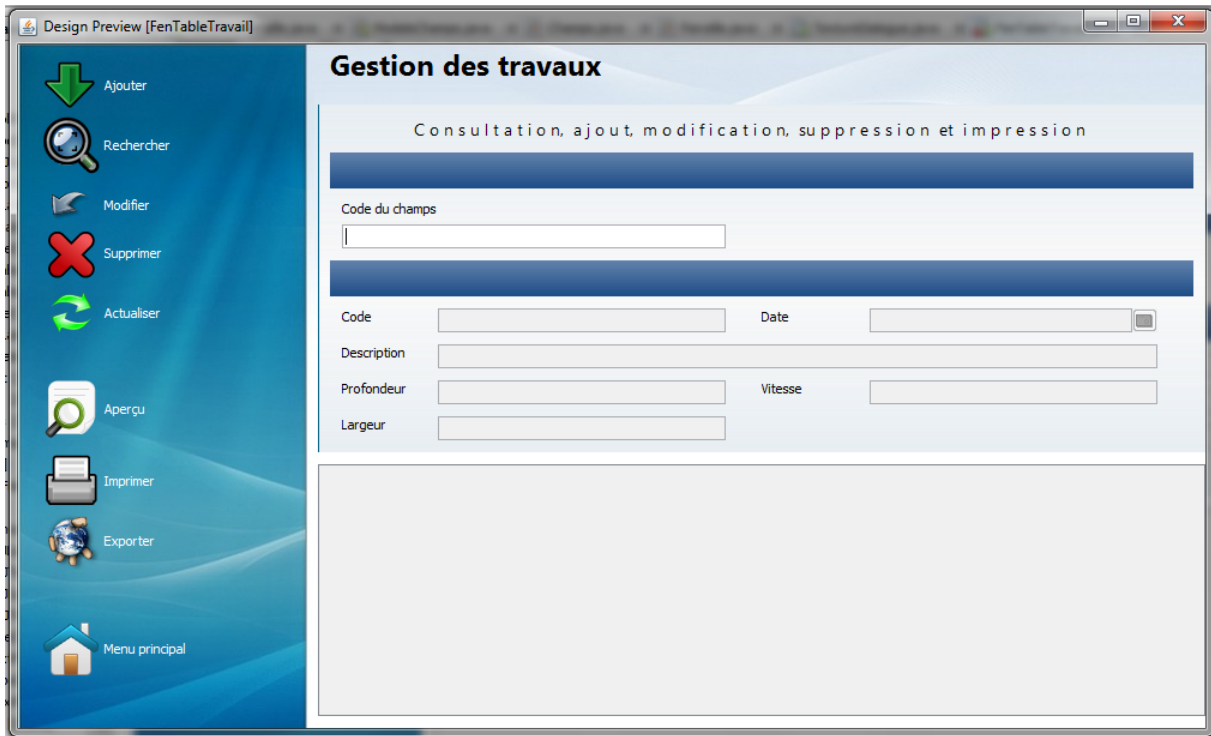


Figure 59 : Fiche Gestion des Travaux

Cette Fiche nous permet la gestion du travail. Création, modification, suppression recherche des types de travaux de la base de données. Des types de travaux préenregistrés dans la table T-Travaux constituant la base de données. Le tableau suivant présente les types de travaux consignés dans la base de données du programme DERT.

Tableau 48 : Travaux

Nom Travail
Travail classique (conventionnel)
Travail simplifié
Semi direct

Les tables représentées par les fiches Travail ; Champ ; Parcelle et Agriculteur sont en relation père fils. Un travail est composé d'un ou plusieurs opérations. Chaque opération est une action d'une machine agricole sur le sol.

18.11. Opérations

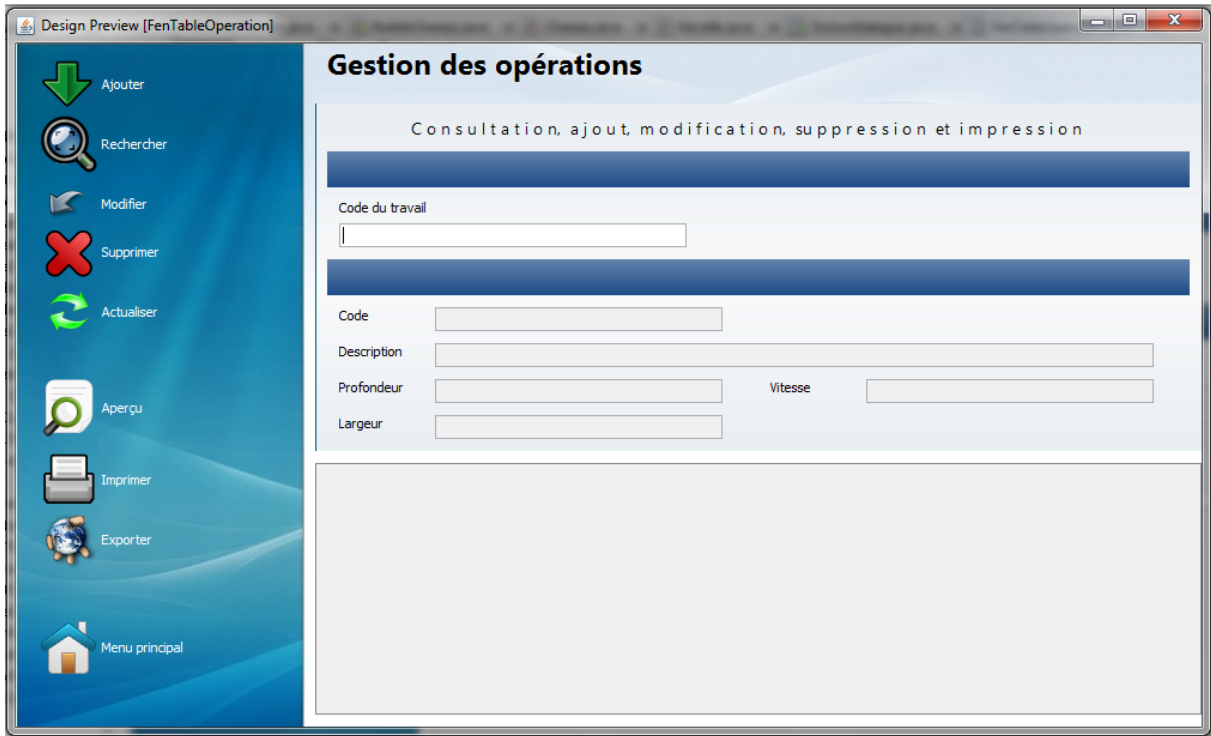


Figure 60 : Fiche Gestion des Opérations

La Fiche Opération est une fiche de gestion des opérations (création, modification et suppression). Le tableau précédant affiche les différentes opérations associées à un type de travail donné. Cette fiche permet de définir les conditions de l'opération nécessaire pour effectuer le travail du sol, ainsi que les paramètres qui vont influencer la consommation du carburant. Le nombre de passage est déterminé par la répétition de l'opération.

Tableau 49 : Caractéristiques des Opérations

Nom Opération	Profondeur (cm)	Largeur (cm)	Vitesse (km/h)
Défoncement	35 à 100	40 à 70	2 à 3
Déchaumage	3 à 8	24	10 à 20
Labour profond	25 à 35	30 à 40	2 à 3
Labour moyen	18 à 24	25 à 35	3 à 5
Labour légers	10 à 15	25 à 30	5 à 7
Labour de prairie	15 à 25	30 à 50	5 à 7
Reprise de labour	5 à 12	3 à 15	10
Pseudo labour	30 à 40		3 à 7
Travail superficiel	5 à 10	-	10
- Hersage	< 10	-	10
- Fraisage	5 à 10	-	3 à 7
Roulage	0	-	10

18.12 Calcul de l'énergie

Dans cette fiche le calcul de l'énergie se fait par le biais des modèles mathématiques évaluant l'effort de résistance à la traction F_t . Cinq modèles sont proposés. En choisissant le modèle il faut par la suite introduire les paramètres qui vont permettre l'évaluation de F_t . Une conversion de la valeur de F_t en TEP est faite pour pouvoir comparer les résultats.

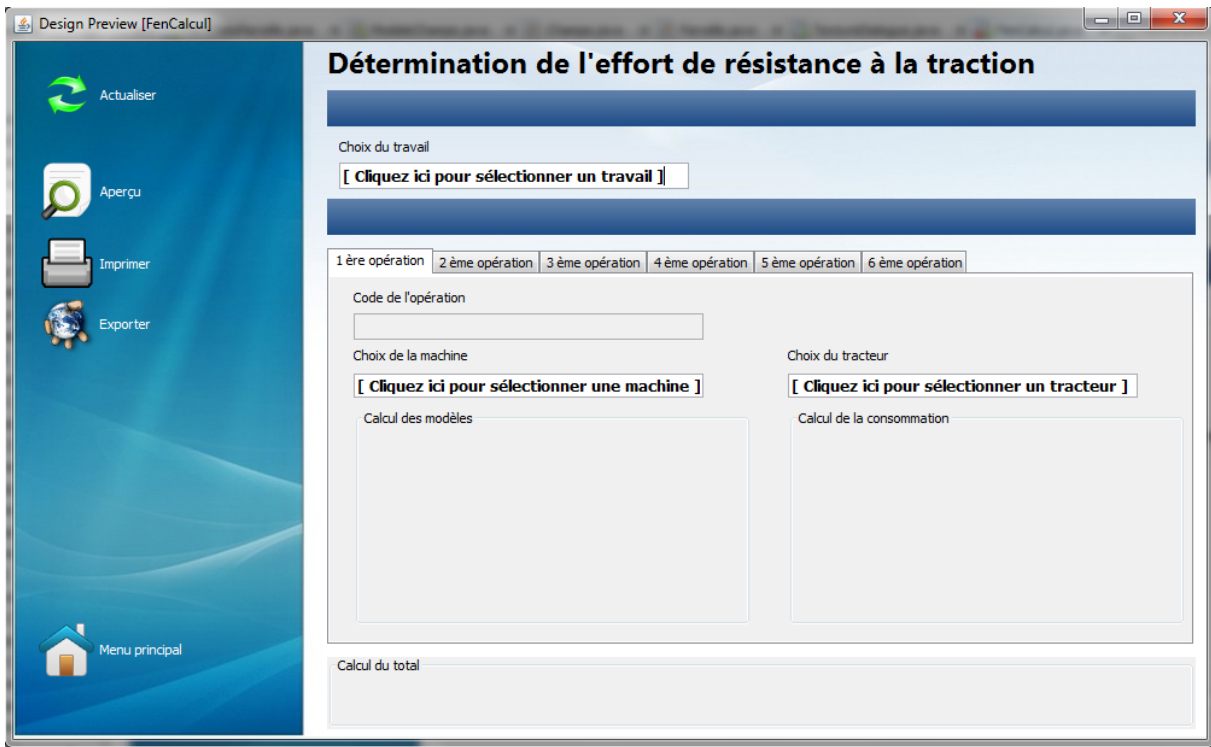


Figure 61 : Fiche Détermination de l'Effort de résistance à la traction et énergie équivalente

Il faut choisir un travail pour pouvoir évaluer l'énergie nécessaire pour une mise en place d'une culture. Il faut aussi choisir un tracteur et une machine agricole préalablement enregistré pour chaque opération composant le travail du sol.

1^{er} Opération, etc...

Ces onglets sont les opérations composant un travail. Ils nous donnent la possibilité de calculer l'énergie nécessaire à un passage du tracteur avec une machine.

Les résultats obtenus des différentes opérations seront cumulé pour donner l'énergie totale relative au travail effectué.

Les fiches listes

Ils nous permettent de lister les parcelles, les champs, les tracteurs et les machines agricoles.

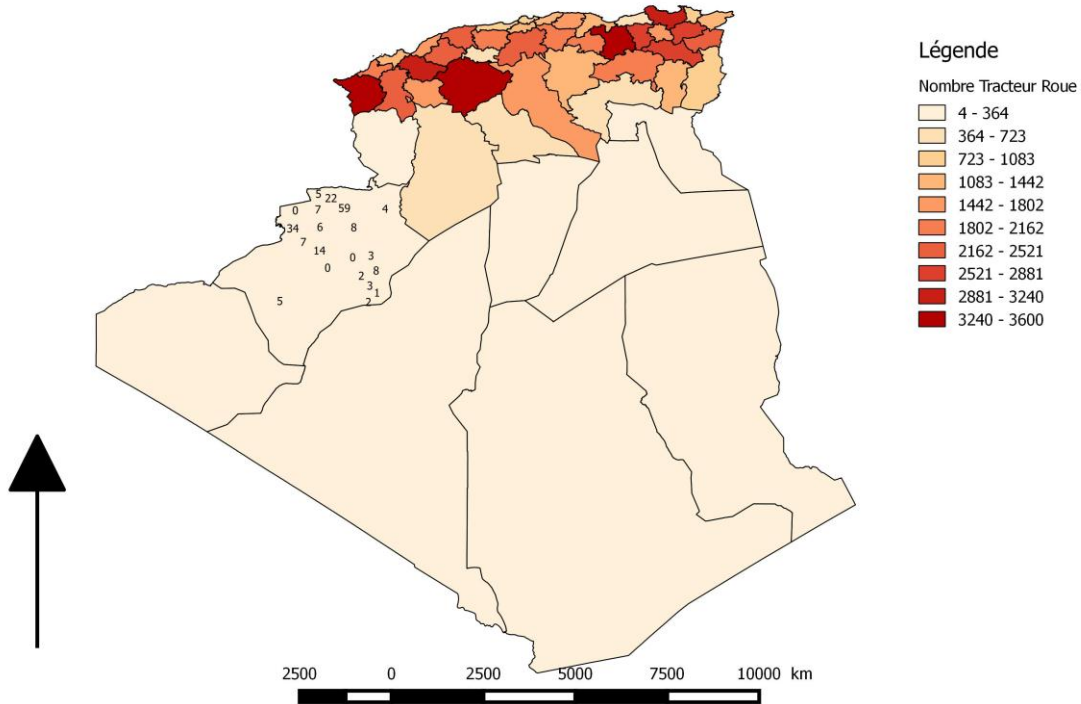
Les fiches recherches

Ils nous donnent la possibilité de faire des recherches rapide et efficace.

Chapitre 19 : Utilisation du Q-GIS

La carte établie par Q-GIS des tracteurs à roues 45 et > 65cv sur la base des données publiées en 2003 du recensement général agricole de 2001 donne cette répartition spatiale des quantités de tracteur par wilaya.

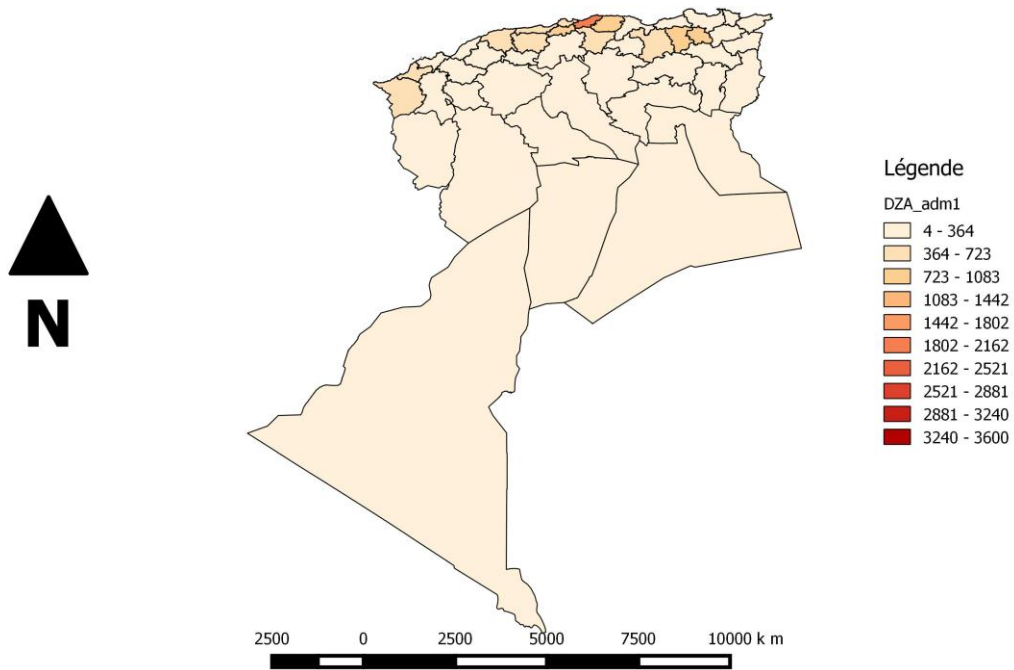
Carte de Répartition des tracteurs à Roue RGA 2003



Carte 16 : Répartition Nationale des tracteurs 45 et 65cv RGA (2003)

Une évaluation de l'effort de résistance à la traction par machine agricole donnera des cartes de répartitions spatiales du même type.

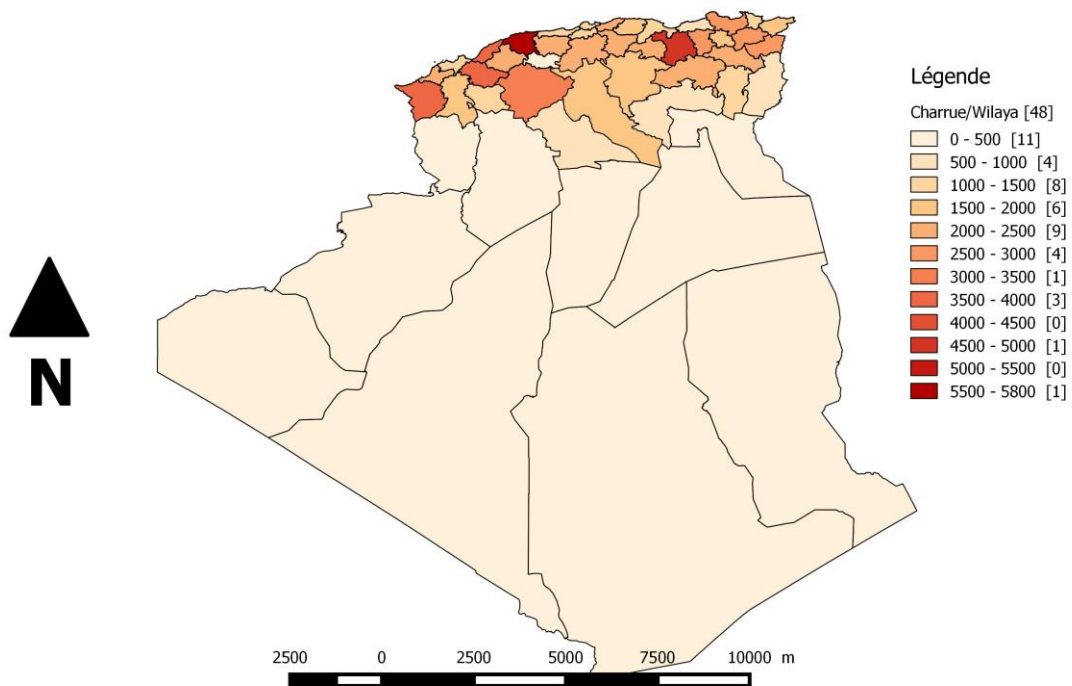
Carte de Répartition des Tracteur à Chenille RGA 2003



Carte 17 : Répartition Nationale des tracteurs à chenilles (RGA 2003)

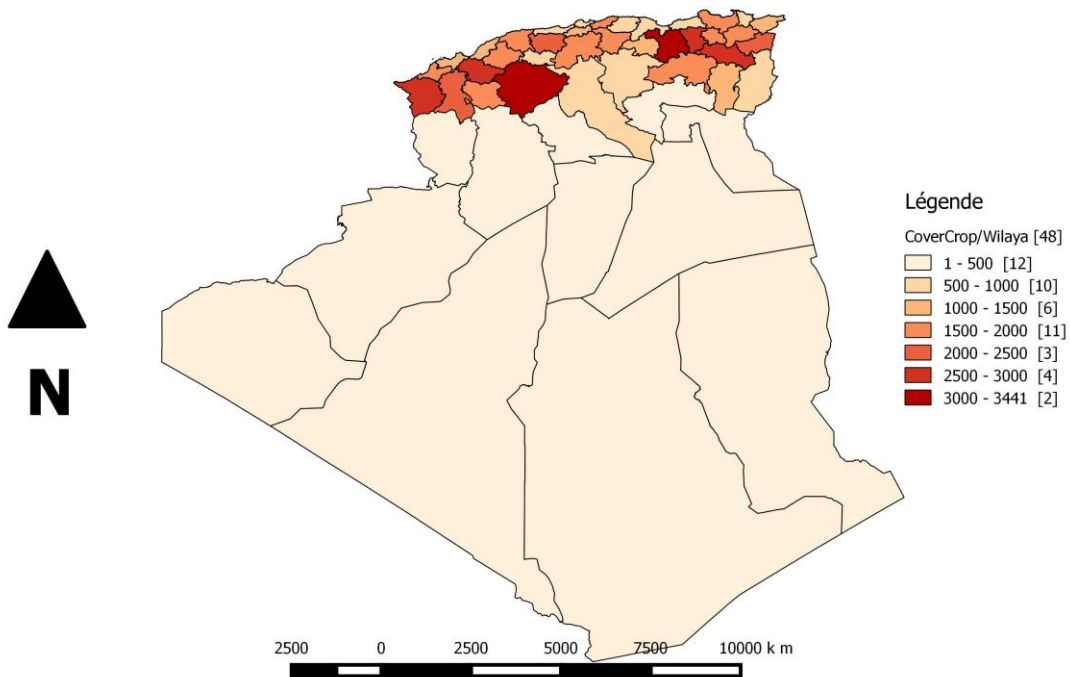
Il est possible d'établir des cartes d'après les données du RGA 2003 des charrues et cover crops comme suit :

Carte de Répartition des Charrue RGA 2003



Carte 18 : Répartition Nationale des Charrues

Carte de Répartition des CoverCrops RGA 2003

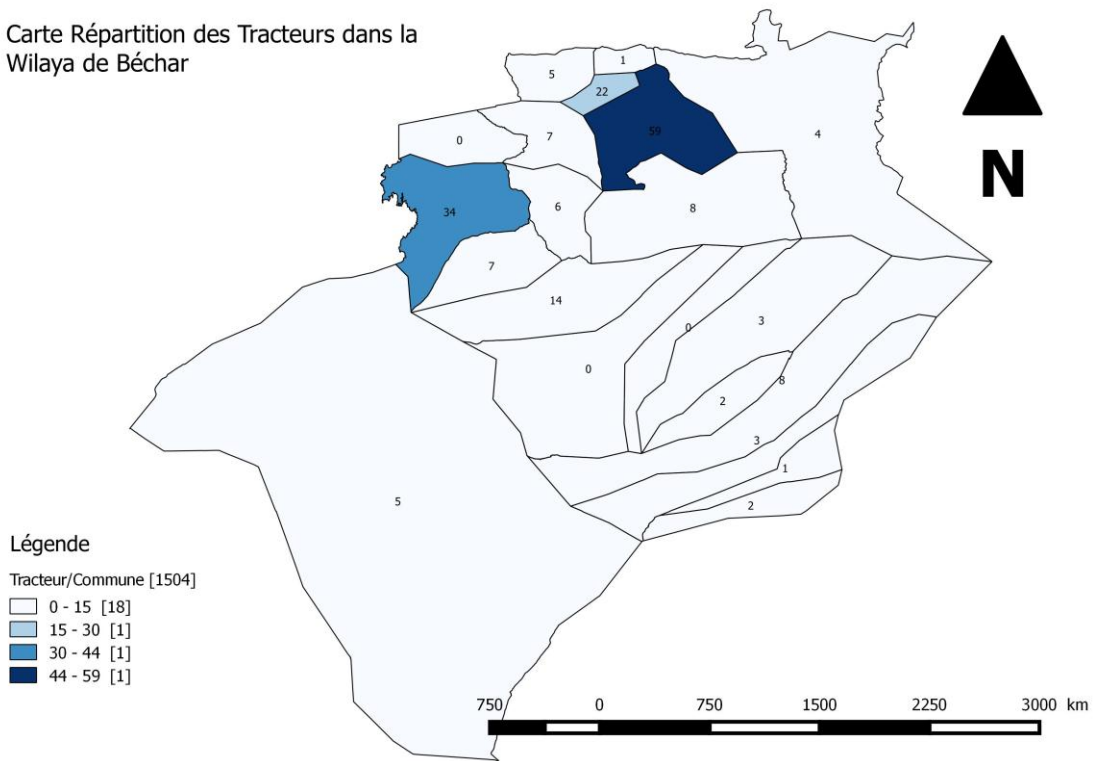
**Carte 19 : Répartition Nationale des Cover-Crops**

Les SIG's donnent beaucoup de possibilités d'établissement de cartes de types différents. Une carte nationale des besoins énergétiques devient possible avec l'utilisation du programme DERT pour l'évaluation avec un géo positionnement et une exportation des résultats vers un Q-GIS rendra cette carte réelle.

Q-GIS nous permettra d'établir des cartes énergétiques pour chaque wilaya avec la précision qui convient. Il est possible aussi d'obtenir des cartes énergétiques communales.

Répartition communale des effectifs tracteurs dans la wilaya de Béchar données DSA Béchar 2012

Carte Répartition des Tracteurs dans la Wilaya de Béchar

**Carte 20 : Répartition Communale des tracteurs dans la Wilaya de Béchar**

Nous pensons pouvoir améliorer le programme DERT pour l'établissement d'une carte énergétique parcellaire. Ceci nous permet d'augmenter considérablement la précision non seulement des résultats mais également celle des cartes. Une fois réalisée, la carte peut nous renseigner sur la configuration énergétique de la parcelle, la répartition exacte des besoins et probablement une identification des parties difficiles et plus exigeantes en énergie.

La combinaison d'outils (DERT et Q-GIS) devrait être une solution pour l'établissement des cartes énergétiques au niveau national et régional pour une compréhension de la situation énergétique des travaux agricoles. Elle apporte en outre une analyse plus précise sur le niveau de mécanisation de l'agriculture Algérienne.

Perspectives et applications

Les perspectives de ce programme sont nombreuses et multiples. Nous mentionnons celles qui paraissent les plus importantes et les plus indispensables pour des applications dans le machinisme agricole. Certaines de ces applications sont d'ordres décisionnels et d'autres exécutifs.

Pour celles qui sont afférentes aux décisions, la collecte des informations et leurs traitements permettent d'avoir un tableau de bord pour décider des puissances et des quantités de tracteur à mettre à la disposition du secteur agricole.

Une répartition des consommations sur une carte avec les puissances équivalentes ou disponibles servent à l'exécution des programmes ministériels dans le secteur agricole avec plus d'efficacité tant sur les plans qualitatifs que quantitatifs.

La collecte des informations apporte une amélioration des modèles mathématiques d'évaluation de l'effort de résistance à la traction et même propose de nouveaux modèles plus exhaustives et précis.

Le programme dans une version améliorée et complète devient un instrument de simulation de la consommation énergétique pour des travaux du sol. Il offre ainsi une gamme de choix pour les exploitants sur la meilleure combinaison possible d'un travail du sol avec une utilisation rationnelle de l'énergie.

Le programme permettra dans une certaine mesure d'analyser les cartes pédologiques des sols Algériens pour extraire directement sur celles-ci, toutes les informations indispensables à l'évaluation de l'effort de résistance à la traction et les énergies correspondantes

Nous comptons dans les cinq prochaines années de cartographier les besoins énergétiques et les consommations énergétiques du secteur agricole des travaux du sol ceux de la wilaya de Souk-Ahras. Nous exploiterons le programme informatique pour couvrir la wilaya de cartes énergétiques des parcelles.

Pour une exploitation maximale du programme informatique DERT il va falloir une caractérisation des outils utilisés par les agriculteurs Algériens afin de pouvoir utiliser le modèle Gorjaschkin, Amara, Gee Clough et Boubrit. Ces caractérisations concernent les

coefficients epsilon, k_1 et k_2 du modèle Amara. Elles concernent aussi les surfaces actives et les angles constructifs des machines agricoles.

Le travail de caractérisation des sols agricoles Algériens en cour de réalisation par l'INSID nous facilitera des simulations des besoins à l'échelle nationale. Toutefois une caractérisation des paramètres mécaniques du sol s'impose.

Toutes les éventuelles analyses qui doivent se faire pour évaluer les efforts de résistance à la traction et en même temps les besoins énergétiques font que compléter les travaux initiés pour caractériser les sols agricoles Algériens. Ils constitueront une banque de données non négligeable ouverte continuellement à son enrichissement. Il est aussi important de noter qu'une évaluation des besoins énergétiques tant locaux que national ainsi que leur cartographie ferait l'objet dans un proche avenir dans l'utilisation des SIG. Une perspective d'aboutir à une gestion géographique des efforts de traction ainsi que des énergies utilisés dans les travaux du sol pour la mise en place des cultures. Cette évaluation de l'énergie dans le travail du sol et sa gestion permettra une visibilité dans le bilan énergétique nationale dans l'ensemble du secteur agricole avec la consommation électrique du secteur agricole.

Conclusion générale

Beaucoup de pays développés des continents Européen et Américain ont établi une politique judicieuse sur l'évaluation des besoins énergétiques et plus particulièrement dans le domaine agricole et ce quel que soit les méthodes utilisées. Les pays en voie de développement ou émergents y compris l'Algérie sont très en retard sur cet aspect. Il est non seulement lié au peu d'études réalisées mais également au type de modèle mathématique qui répond au mieux de la situation sociétale pour chacun d'entre eux. Quant au travail que nous avons réalisé, il demeure essentiellement une contribution pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction exigé lors des opérations de préparation du sol grâce à un programme informatique que nous avons conçu. Ce dernier pourrait être un outil essentiel aussi bien pour les utilisateurs, les décideurs et les chercheurs.

Le choix du modèle mathématique pour la détermination de l'effort de résistance est souvent délicat, car il nécessite la connaissance de plusieurs paramètres qui sont souvent difficiles à évaluer. Le programme DERT (Détermination de l'effort de résistance à la traction) offre à l'utilisateur les possibilités de choisir correctement le modèle le mieux adapté. Il permet également aux chercheurs de comparer les résultats obtenus avec les différents modèles introduits dans le programme pour utilisation rationnelle du tracteur.

Le programme informatique DERT utilisé au niveau des différentes exploitations agricoles, permettrait l'établissement d'une base de données relative aux besoins énergétiques au niveau d'un réseau local ou même national. Il vise également une analyse précise des besoins en énergie lors des différentes opérations de préparation du sol, s'il est exploité de manière correcte.

La base de données joue un rôle prépondérant dans la conception de la forme, de la surface active des outils aratoires compte-tenu des conditions pédoclimatiques prédéfinies. Ceci aura pour conséquence la réduction de la consommation en énergie sans pour autant négliger les objectifs agronomiques recherchés par les opérations de travail du sol. L'amélioration des indices qualitatifs doit en effet être la principale préoccupation.

Elle serait un outil approprié au plan national dans le choix et la répartition optimale des tracteurs en fonction de leurs caractéristiques techniques telle que la puissance.

Les objectifs assignés aux besoins énergétiques dans le travail du sol sont multiples :

- Sensibilisation et réflexions sur les économies d'énergie.
- Etablissement d'inventaires des entrées et des sorties d'énergie lors des travaux du sol et la comparaison de chaque bilan avec les autres exploitations.
- Prise de conscience et mises en œuvre des économies potentielles d'énergie grâce aux simulations proposées.
- Enfin l'adaptation des tracteurs et les matériels de travail du sol ainsi que leurs réglages qui ont une grande incidence sur l'économie d'énergie.

Hormis les problèmes techniques il faut souligner un certain nombre d'obstacles et de contraintes limitant la réflexion autour de l'économie d'énergie. En autres, nous citons le manque d'informations, contraintes sociales, contraintes réglementaires, contraintes financières et économiques.

Lors de ces travaux, nous avons pris à titre d'exemple 5 modèles qui paraissent les mieux adaptés pour notre programme informatique.

L'**objectif** principal est de calculer la consommation d'énergie et de générer une base de données que nous nous sommes fixés. Cet objectif est atteint grâce au calcul de la consommation en carburant par le biais de deux méthodes celle du réservoir plein et celle de **l'effort de résistance à la traction**.

Le programme peut être un vecteur de la répartition de la consommation d'énergie sur le plan cartographique au niveau national par les divers opérateurs en fonction de leur propre problématique.

Le programme informatique proposé est entièrement manuel qui prend en compte une multitude de choix sur les machines agricoles, tracteurs, le type de travail et des modèles mathématique. C'est à l'utilisateur de décider de la méthode à adopter ainsi que du réglage des différents paramètres.

Le partage des données dans un réseau local, régional et même national exige une amélioration du programme. Pour cela il est impératif d'effectuer des tests expérimentaux suivi d'analyses statistiques et de représentations graphiques.

La conception de cartes de consommation d'énergie dans le secteur agricole en Algérie, est une option stratégique pour l'adéquation de toutes décisions sur l'ensemble du territoire national.

A l'avenir, ce programme peut permettre le traitement instantané des données à différents niveaux pour peu que les tracteurs soient équipés de capteurs d'enregistrement de données in situ sur les divers travaux agricoles. Cela permet à l'agriculteur d'une exploitation en dehors ou dans le poste de pilotage de rationaliser sa consommation énergétique en fonction de chaque opération du travail du sol. Toutes les données recueillies sont d'une grande importance et ce quel que soit les objectifs des opérateurs algériens du domaine de la recherche, du recensement et statistiques agricoles.

Les modèles mathématiques utilisés dans le programme informatique D. E. R. T pourrait influencer les concepteurs d'outils et de machines agricoles d'innover de nouveaux produits plus adaptés aux besoins des agriculteurs. Ils ont aussi pour but d'impliquer étroitement les chercheurs de simuler les opérations agricoles afin de réduire la consommation du carburant.

Toutes les données sur le travail du sol recueillies à partir des exploitations agricoles une fois traitées deviennent un outil stratégique dans l'élaboration de nouvelles théories ou concepts concernent les travaux du sol et les machines agricoles.

Les données enregistrées sont aussi autant d'informations sur le comportement des agriculteurs ainsi que leurs pratiques culturales. L'analyse de ces données donne aux scientifiques ainsi qu'aux institutions responsables du secteur agricole et certains ministères une vision d'anticipation et de prévision sur les consommations en carburant pour chaque culture. Elles sont spécifiques pour chacune d'entre elles en fonction des puissances utilisées des tracteurs, machines agricoles ainsi que les combinaisons des deux.

Ces informations sur les données et leurs analyses sont aussi important pour l'élaboration d'une stratégie de vente chez la PMA Trading.

Bibliographie

- Abdelguerfi, A., Zeghid, K., Isherwood, J., Poulisse, T., van den Bergen, D., Montange, 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie (FAO), FAO. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO, ROME.
- Amar, M., 1994. Evaluation de la consommation de carburant d'un tracteur agricole. (Mémoire d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Amara, M., 2009. Contribution à la modélisation interface outils aratoires-sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrue à socs et des outils à dents., Edilivre. ed, Universitaire. Edilivre, Paris.
- Amara, M., 2007. Contribution à la modélisation interface outils aratoires – sol Optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrues à socs et des outils à dents (Doctorat). Institut Nationale Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Amara, M., 1983. Influence des principaux paramètres constructifs de deux corps charrue à savoir universel et cylindrique et de la vitesse de travail sur les indices qualitatifs des labours. (Magister). INA, El-Harrach.
- Amara, M., 1978. Optimisation de l'ensemble tracteur C6006 houe rotative pour la préparation du sol (Thèse d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Amara, M., Feddal, M.A., 2013. A force prediction model for the plough introducing its geometrical characteristics and its comparison with Gorjatchkin and Gee Clough models. *Int. J. Eng. Res. Technol.*, IJERT 2.
- Amara, M., Guedioura, I., 2013. A force prediction model for the plough introducing its geometrical characteristics and its comparison with Gorjachkin and Gee Clough models. *Erud. J. Eng. Sci. Technol. EJEST* 1, 1–7.
- Anonyme, 2015. Masse volumique [WWW Document]. Wikipédia. URL https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Masse_volumique&oldid=116435916 (accessed 7.4.15).
- Anonyme, 2014. Tonne d'équivalent pétrole [WWW Document]. Wikipédia. URL https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tonne_d%27%C3%A9quivalent_p%C3%A9trole&oldid=109878468 (accessed 6.28.15).
- Badouna, B.-E., 2009. Modélisation de l'évaluation des besoins en énergie pour la mise en place d'une culture. Ecole National Supérieure Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Badouna, B.-E., Amara, M., 2015. Etablissement d'un Programme Informatique pour la Détermination de l'Effort de Résistance à la Traction des Outils Aratoires en vue de l'Optimisation des Besoins en Energie. *Wulfenia J., multidisciplinarywulfenia* 22, 343–355.
- Barthélemy, P., Boisgontier D., Lajoux P., 1987. Travail du sol, choisir les outils de travail du sol., ITFC. ed. France.
- Binesse, M., 1970a. Cisaillement et résistance spécifique du sol lors des labours classiques., Etude de CNEEMA. CNEEMA, CNEEMA.
- Binesse, M., 1970b. Cisaillement et résistance spécifique du sol lors du labour classique. BNEDER.dz [WWW Document], 2015. URL <https://fr-fr.facebook.com/bneder.dz/posts/480076652074229> (accessed 6.11.16).
- Boubrat, B., 2000. Evaluation de la résistance à la traction d'une dent en fonction des caractéristiques physiques du sol. Application de l'analyse dimensionnelle et modélisation. (Magister). INA, El-Harrach.
- Bouzit, G., 1995. Modélisation de l'effort de résistance à la traction des charrues à socs sur sol réel. (Thèse d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.

- Brown L.N, 1980. Les énergies renouvelables techniques d'utilisation dans le tiers monde rural. Masson.
- Bruand, A., Fernández, P.P., Duval, O., Quétin, P., Nicoullaud, B., Gaillard, H., Raison, L., Pessaud, J.F., Prud'Homme, L., 2002. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols. *Etude Gest. Sols* 9, 105 à 125.
- Carte des régions naturelles de l'Algérie et de la Tunisie. [WWW Document], n.d. URL <http://www.cosmovisions.com/cartes/VL/079a.htm> (accessed 6.29.15).
- Charreau, C, Nicou, R, 1971. Analyse d'ouvrage : l'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sableux argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques. *Bull. Liaison ORSTOM, Pédologie* 1, 13–28.
- CNEEMA, 1979. Les fçons du travail du sol (Etude No. 455). CNEEMA.
- Collectif, Mazoyer, M., 2002. Larousse agricole : Le monde paysan au XXIe siècle, 4e ed. Larousse, Paris.
- Coulomb, I, 1991. Analyse quantitative du comportement du sol lors des labours classiques. (Theses Doctorat). INA-PG, Paris-Grignon.
- Dalleine E, 1971. Le chisel et le cultivateur n°163 (fascicule No. 504), Techniques agricoles. C N E E M A, France.
- Dalleine E, 1962. Notes pour le siège n°904, 1228.
- Damanuskas, V., Janulevičius, A., 2015. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. *J. Terramechanics* 60, 63–73. doi:10.1016/j.jterra.2015.06.001
- Derdour, H., 1999. Cours de Pédologie Générale (ENSA) LES CONSTUTUANTS DU SOL.
- Diserens E, 2014. Un logiciel pour protéger le sol et économiser du carburant. *Agri, Agri* 20, 10.
- Diserens E, Battiato A, 2013. TASC V3.0 - vulnérabilité du sol et consommation de carburant : Application informatique pour évaluer les charges subies par le sol en surface et en profondeur dans l'agriculture et la sylviculture, ainsi que pour estimer la consommation d'énergie et de carburant en grandes cultures. *ART-Ber., ART-Bericht* 766, 1–8.
- FAO, 2015. Carte FAO/UNESCO des sols du monde | FAO | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [WWW Document]. Portail Inf. Sur Sols. URL <http://www.fao.org/soils-portal/etude-des-sols/cartes-historiques-et-bases-de-donnees-des-sols/carte-faunesco-des-sols-du-monde/fr/> (accessed 6.11.16).
- FAOSTAT [WWW Document], 2015. . Quant. Prod. Par Pays Somme 1993 - 2013. URL http://faostat3.fao.org/browse/Q/*F (accessed 5.7.15).
- Gao Qiong, Pitt, R.E, Ruina, A, 1986. A Model to Predict Soil Forces on the Plough Mouldboard. *J. Agric. Eng. Res.* 35, 141–155.
- Gao, W., Zhou, T., Ren, T., 2015. Conversion from Conventional to No Tillage Alters Thermal Stability of Organic Matter in Soil Aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 585. doi:10.2136/sssaj2014.08.0334
- Gaucher, G, 1968. *Traité de pédologie agricole*, dunod. ed.
- Gee Clough, D.G. et al, 1978. The empirical prediction of tractor implement field performance. *Terramechanics* 81–94.
- Godwin, R.J, Spoor, G, 1977. Soil failure with narrow tines. *J.A.E.R* 22, 213–228.
- Gorjatschkin, VP, Sohene, 1960. *Collected Works in Three Volumes.*, N. D. Luchinskii. ed. Ketter Press, Jerusalem.
- Gowell, G, 1985. Southearsten tillage energie data and recommanded reporting. *TR – ASAE* 28, 732–737.

- Guedioura, I., 2001. Essai de modélisation de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires (Cas des outils à dents). (Thèse de Magister). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Hausenbuiller, R. L., 1985. Soil Science : Principles and Practices, 3rd ed. McGraw-Hill Higher Education.
- Henin, S., 1977. Cour de physique du sol. Tome 1., ORTOM. ed. Paris.
- Henin, S., 1976. Cour de physique du sol Tome 1, Masson. ed. Paris.
- Henin, S., 1969. Le profil cultural : l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques., Masson et Cie. ed. Paris.
- Historique | ETRAG – Entreprise TRacteurs AGricoles, n.d.
- Houyou, Z., 1989. Contribution à la modélisation de l'interface outils aratoires-sol. Analyse de l'influence de la forme de deux corps de charrue à socs sur l'effort de résistance à la traction. (Thèse de Magister). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- IE Energy (Innovation Engineering) Ltd, 2001. Ecologie - Energie et agriculture (Centre d'information sur l'énergie et l'environnement) [WWW Document]. URL www.ciele.org/essenciele/essenciele76.htm
- Isabelle Jeuge-Maynard et Al, 1976. Grande Encyclopédie Larousse - mécanique des sols [WWW Document]. URL <http://www.larousse.fr/archives/grande-encyclopedia/page/8766> (accessed 6.28.15).
- ITGC, 2003. Fiche technique des céréales. Vulgarisation.
- Johnson, C.E., Buchele, W.F., 1969. Energy in clod-size reduction of vibratory tillage. Trans. ASAE 12, 371.
- Kanafojski, C, Z., 1967. Théorie et construction des machines agricoles, tome 1. ed. (P.W.R.L) Edition d'état des ouvrages en agriculture et foresterie, Varsovie.
- Kessira, M., 1988. Analyse du mode d'action des outils aratoires sur l'état du sol et conséquence sur les besoins énergétiques(cas des pseudo labours) (Thèse d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Kheffache .Y, 1992. Analyse énergétique dans les systèmes à dominante céréalière (Cas d'un échantillon d'exploitations agricoles dans la wilaya de Tiaret). (Thèse de Magister). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Kumar, A., Chen, Y., Sadek, M.A.-A., Rahman, S., 2012. Soil cone index in relation to soil texture, moisture content, and bulk density for no-tillage and conventional tillage. Agric. Eng. Int. CIGR J. 14, 26–37.
- Ladi, S, Ouzlifi. A, 1994. Contribution à la modélisation interface de deux corps de charrue à socs par l'effort de résistance à la traction. (Thèse d'Ingénieur). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Larson, L. W. et al, 1968. Predicting draft forces using mouldboard plows in agricultural soils. Trans. ASAE 11, 665–668.
- L'EPE-MAGI, ex (SONACOME, 2015. MAGI Industrie - Domaine d'activités [WWW Document]. URL <http://www.magirouiba.com/domaine-dactivites> (accessed 6.30.15).
- Mac Gregor. R.J., et al, 2006. Consommation d'énergie. [WWW Document]. URL www.agr.gc.ca/policy/environment/pdfs/aei/fchap17.pdf
- MADR, FAO, 2003. RECENSEMENT GENERAL DE L'AGRICULTURE 2001-2003 (RAPPORT GENERAL DES RESULTATS DEFINITIFS No. 2), RECENSEMENT GENERAL DE L'AGRICULTURE. MADR, Alger, Algeria.
- Mesri, D, 1982. Etude des corps de charrues pour labours rapides et de quelques conséquences de l'accroissement de la vitesse de travail. INA-PG, France.

- Ministère de l’Energie et des Mines, 2015. Bilan Énergétique National [WWW Document]. Ministère Energ. URL <http://www.mem-algeria.org/francais/index.php?page=bilan-des-realizations-2> (accessed 6.21.15).
- Ministère de l’Energie et des Mines, 2014. Bilan énergétique national 2013 édition 2014 (Ministère), Bilan Énergétique National. Ministère de l’Energie et des Mines, Algérie.
- Ministère de l’Energie et des Mines, 2011. Bilan énergétique national 2010 édition 2011 (Ministère), Bilan Énergétique National. Ministère de l’Energie et des Mines, Algérie.
- Nakib. H., 1986. Contribution à l’étude de l’influence de l’humidité du sol et la vitesse de travail sur les indices qualitatifs du labour et la force de résistance à la traction. (Thèse de Magister). Institut National Agronomique, El Harrach - Alger- Algérie.
- Nicou, R, 1977. Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. Motivations. Contraintes. ISRA-CNRA, Bambey.
- Nicou, R, 1974. Contribution à l’étude et à l’amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques. L’Agronomie Tropicale 29, 1100–1127.
- Nikiforov, 1974. Etude de l’adaptation d’une série de corps de charrue au labour rapide. Bulletin du CNEEMA 235 et 236.
- O’callaghan. J.R, McCoy. J.G, 1965. The handling of soil by mouldboard ploughs. J. Agric. Eng. Res. 10, 23–35.
- 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. J. Terramechanics 19, 153–164.
- Partenariat | ETRAG – Entreprise TRacteurs AGRicoles, n.d.
- Pellecuer, B., 2006. Energies renouvelables et agriculture : Perspectives et solutions pratiques. Editions France Agricole, Paris.
- Pratibha, G., Srinivas, I., Rao, K.V., Raju, B.M.K., Thyagaraj, C.R., Korwar, G.R., Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Choudhary, D.K., Rao, K.S., Srinivasarao, C., 2015a. Impact of conservation agriculture practices on energy use efficiency and global warming potential in rainfed pigeonpea–castor systems. Eur. J. Agron. 66, 30–40. doi:10.1016/j.eja.2015.02.001
- Pratibha, G., Srinivas, I., Rao, K.V., Raju, B.M.K., Thyagaraj, C.R., Korwar, G.R., Venkateswarlu, B., Shanker, A.K., Choudhary, D.K., Rao, K.S., Srinivasarao, C., 2015b. Impact of conservation agriculture practices on energy use efficiency and global warming potential in rainfed pigeonpea–castor systems. Eur. J. Agron. 66, 30–40. doi:10.1016/j.eja.2015.02.001
- Ranjbarian, S., Askari, M., Jannatkah, J., 2015. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. J. Saudi Soc. Agric. Sci. doi:10.1016/j.jssas.2015.05.003
- Raper, R. L., Reeves, D. W., Burmester, C. H., Schwab, E. B., 2000. Tillage depth, Tillage timing, And Cover Crop Effects on cotton yeild , Soil strength, and Tillage Energy requirements. Appl. Eng. Agric. 16, 379–385. doi:10.13031/2013.5363
- Rieu Catherine, 2001. Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques. Presented at the Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, pp. 21–22.
- Ros. V, Smith. R.J, Marley. S.J, Erbach. D.C, 1995. Mathematical Modeling and Computer Aided Design of Passive Tillage Tools. Trans. ASAE 38, 675–683.
- Rusu, T., 2014. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. Int. Soil Water Conserv. Res. 2, 42–49. doi:10.1016/S2095-6339(15)30057-5
- Sandru, A., 1975. Machines agricoles pour la mise en état et la préparation du sol.

- Severkey, Tsyganov, 1982. The determination of plough draught, Part II. The measurement and prediction plough draught for two mouldboard shapes in three soil series. *J. Terramechanics* 19, 153–164.
- Talpin, J., 2010. Economies énergie exploitation agricole. France Agricole, Paris.
- Wheeler. PN, Godwin. RJ, 1996. Soil dynamics of single and multiple tines at speed up to 20 Km/h. *J-AGR-ENG-RES* 63, 243–250.
- Willem Hoogmoed, n.d. Chapitre 8 - Énergie [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/docrep/w7304f/w7304f08.htm> (accessed 6.27.15).
- Yousef Abbaspour-Gilandeh, Alireza Shaygani-Soltanpour, Abdollah Golmohammadi, Rahimi-Ajdadi, Farideh Qahari-Kermani, 2012. Evaluation of Factors Affecting Soil Cone Index and Determination of Mathematical Model for Prediction of Soil Cone Index Using Multiple-Regression Model. Presented at the Conference: 8th International Soil Science Congress on “Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management”, Dr. Nur OKUR Dr. Mustafa BOLCA Dr. M. Tolga ESETLIL, Çesme- izmir, TURKEY, pp. 325–329.