

*Evaluation des besoins énergétiques pour  
la mise en place des cultures.*

Conception d'un programme informatique.

Présenté Par

**Baha-Eddine BADOUNA**

Promoteur : AMARA Mahfoud Maitre de conférence

Soutenue le : 08/11/2009

devant le jury : Président : AIDAOUI Abdallah Professeur Examineur : KACI Ferhat Maitre de  
conférence : BOUAZIZ Mohamed Maitre de conférence : REGUIEG Lies Maitre de conférence



# Table des matières

Dédicace . . .	5
ص:خلملا . . .	6
Résumé . . .	7
Abstract . . .	8
Remerciement . . .	9
Introduction et problématique . . .	10
<b>PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE . . .</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre 1. Energie et Agriculture dans le monde . . .</b>	<b>12</b>
1.1. Introduction . . .	12
1.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs . . .	12
1.3. Importance de l'énergie fossile en agriculture comparée aux autres formes d'énergies . . .	13
1.4. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture . . .	13
<b>Chapitre 2. Energie et Agriculture en Algérie . . .</b>	<b>14</b>
2.1. Introduction . . .	14
2.2. Part de l'énergie consommée par l'agriculture par rapport à d'autres secteurs . . .	15
2.3. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture . . .	15
<b>DEUXIEME PARTIE : BESOINS EN ENERGIE ET METHODES D'EVALUATION . . .</b>	<b>16</b>
<b>Chapitre 3. Besoins énergétiques pour la production d'une céréale (Blé) . . .</b>	<b>16</b>
3.1. Introduction . . .	16
3.2. Le déchaumage . . .	18
3.3. Les labours . . .	18
3.4. Les pseudo labours (Reprise du labour) . . .	18
3.5. Les travaux superficiels (Façons superficielles) . . .	19
3.6. Le semis . . .	19
3.7. La fertilisation, le traitement, le transport et la manutention . . .	19
3.8. La récolte . . .	20
3.9. Conclusion . . .	20
<b>Chapitre 4. Méthodes d'évaluation de la consommation en énergie . . .</b>	<b>21</b>
4.1. Introduction . . .	21
4.2. Méthodes classiques (réservoir plein) . . .	21
4.3. Méthodes de la capacité de travail W . . .	23
4.4. Méthodes utilisant l'effort de résistance à la traction Ft . . .	24
4.5. Critiques des différentes méthodes . . .	44
Conclusion . . .	45
<b>Chapitre 5. Les bases de données et les systèmes d'informations . . .</b>	<b>46</b>
5.1. Introduction et définition : . . .	46
5.2. Différents modèles de bases de données . . .	46
5.3. Bases de données relatives à la mécanisation agricole . . .	47

<b>TROISIEME PARTIE : ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME INFORMATIQUE . .</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre 6. Proposition d'un programme informatique pour la détermination des besoins en énergie pour la mise en place d'une culture . .</b>	<b>49</b>
6.1. Introduction et objectifs . .	49
6.2. Hypothèses de base pour la réalisation du programme informatique . .	50
6.3. Moyens et Méthodes . .	51
6.4. Modélisation conceptuelle . .	55
6.5. Construction du schéma logique ou Algorithme . .	62
6.6. Conception physique de la base de données : . .	65
<b>Chapitre 7. L'exemple . .</b>	<b>67</b>
7.1. Caractéristiques de l'exemple choisi . .	67
<b>Chapitre 8. Utilisation du programme D.E.I.T. . .</b>	<b>71</b>
<b>Conclusion Générale et Perspectives . .</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .</b>	<b>93</b>

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mon grand père C L.*

ص خ ل م ا

## تقييم احتياجات الطاقة اللازمة لعملية الزراعة. تصميم برنامج إعلام آلي

أهمية تقييم الاحتياجات من الطاقة لعمليات تهيئة التربة كانت دوما من اهتمامات الباحثين. هؤلاء افترضوا عدة طرق لحساب الاحتياجات من الطاقة. طريقتين تم اختيارهم لهذا العمل , الأول بخص علاقات التمثيل الرياضي لحساب قوة الجر و الثانية تخصص خزان الوقود الممثلة. هذا العمل هو استعمال للطريقتين داخل برمجة إعلام آلي حتى يتسنى لنا تهيئة بنك معلومات خاص بتقييم احتياجات الطاقة عند زرع المحاصيل. لهذا قمنا بتصميم برمجة إعلام آلي لتقييم احتياجات الطاقة سريعة الحساب و قمنا بحفظ قيم الطاقة و مكوناتها في بنك المعلومات. هذا البرنامج سيكون ضروري لاختيار الطريقة المثلى لحساب دقيق للطاقة و من جهة أخرى استغلال بنك المعلومات لوضع خريطة جغرافية لاستهلاك الطاقة و ذلك لتوزيع عتاد الفلاحة و خاصة الجرارات عبر التراب الوطني.

كلمات مفتاحية : طاقة , تمثيل رياضي , قوة الجر , برنامج إعلام آلي , بنك المعلومات.

## Résumé

L'importance de l'évaluation des besoins en énergie pour les opérations de préparation du sol a été souvent une préoccupation pour plusieurs chercheurs. Ces derniers ont proposé plusieurs méthodes pour son évaluation. Certaines sont simples et d'autres plus complexes. Deux méthodes ont été retenues, celle des modèles mathématiques passant par l'évaluation de l'effort de résistance à la traction et celle du réservoir plein.

Notre travail porte sur l'utilisation de ces deux méthodes pour proposer un programme informatique indispensable pour une contribution à l'établissement d'une base de données, relative aux besoins énergétiques pour la mise en place d'une culture.

A cet effet, un programme informatique a été conçu pour calculer rapidement les besoins en énergie pour la mise en place d'une grande culture et ce à partir de données prédéfinis.

Le programme proposé sera également un outil indispensable qui permettra, à partir de la base de données établie, de choisir correctement la méthode ou les modèles à utiliser pour une évaluation précise de la consommation énergétique en agriculture. Ceci d'une part, d'autre part, l'exploitation de la base de données permettra d'établir une carte de consommation en énergie nécessaire pour une bonne répartition des équipements agricoles et plus particulièrement des tracteurs au niveau national.

**Mots clés : Energie, Modèles mathématiques, Résistance à la traction, programme informatique (logiciel), bases de données.**

## Abstract

The importance of the evaluation of the energy needs for the operations of tillage was often a concern for several researchers. The latter proposed several methods for its evaluation. Some are simple and others more complex. Two methods were adopted, that of the mathematical models passing by the evaluation of the effort of tensile strength and that of the full tank.

Our work concerns the use of these two methods to propose an essential computer program for a contribution to the establishment of a database, relating to the energy needs for the installation of a culture.

For this purpose, a computer program was conceived to quickly calculate the energy needs for the installation of a field crop and this starting from data preset.

The program suggested will be also essential tools which will allow, starting from the established database, to correctly choose the method or the models to be used for a precise evaluation of energy consumption in agriculture. This on the one hand, on the other hand, the exploitation of the database will make it possible to establish a chart of consumption in energy necessary for a good distribution of the agricultural equipment and more particularly of the tractors to the national level.

**Key words: Energy, Mathematical models, Tensile strength, computer program (software), databases.**

## Remerciement

J'exprime mes plus vifs remerciements à toute personne qui m'a aidé à élaborer ce modeste travail de près ou de loin.

Il n'est jamais facile de mettre un nom sur un travail !...

Un jour, Newton – qui n'était pas connu par sa modestie – a eu ces paroles rayonnantes de sagesse : « Si j'ai pu voir loin, c'est en me hissant sur les épaules des géants. »

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde reconnaissance à monsieur Mahfoud AMARA, mon directeur de thèse, qui a dirigé mon travail ; Ses conseils et ses commentaires précieux m'ont permis de surmonter mes difficultés et de progresser dans mes travaux.

Je voudrais également exprimer mes remerciements sincères à monsieur Zaim BOURARA et madame Sabiha BOURARA, qui par leurs expériences et leurs enthousiasmes, m'ont aussi donnés beaucoup de propositions tout au long de ce travail, leur sympathie ainsi que leurs idées constructives.

Je tiens aussi à remercier monsieur AIDAOUI Abdallah, professeur à l'ENSA, pour ses encouragements, son soutien et pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie également les membres du jury monsieur KACI Ferhat et monsieur REGUIEG Lies tout deux maîtres de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El-Harrach, ainsi que monsieur BOUAZIZ Mohamed maître de conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach pour leurs encouragements et pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance à mes parents pour leurs soutiens et appui moral ainsi qu'à mon grand-père.

Tous mes remerciements à ma femme pour son soutien et sa patience.

Je tiens à remercier toute la famille et la belle famille pour leurs encouragements et soutiens.

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous une profonde et sincère gratitude.

## Introduction et problématique

L'agriculture moderne est marquée par l'accroissement de l'utilisation de l'énergie fossile et électrique ainsi que la diminution 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. En Algérie, l'énergie consommée par l'agriculture n'est pas quantifiée (absence de statistiques).

Dans le **RGA (Recensement Général Agricole)** aucune évaluation de l'énergie consommée en agriculture n'est faite, seul le nombre de tracteur et le ratio tracteur / SAU est exprimé. Même à ce niveau, le type de tracteurs et leurs puissances motrices ne sont pas pris en considération.

Aucune statistique dans l'**ONS (Office National des Statistiques)** n'est faite sur la consommation énergétique en agriculture. Donc une absence quasi-totale de toute information qui puisse définir le niveau de la consommation en énergie.

Les statistiques algériennes de l'**ONS (Office National des Statistiques)** ainsi que de la **RGA** ne communiquent aucune information sur l'indice de motorisation ou celui de mécanisation.

Il n'existe également aucune norme algérienne pour un équipement en machines agricoles qui permettraient une rationalisation des fabrications et des importations de ces machines.

L'agriculture algérienne est cependant un des secteurs d'activité stratégique qui nécessite une attention toute particulière. Il est indéniable que l'évolution ou la redynamisation de ce secteur d'activité passe obligatoirement par la fourniture de tracteurs et matériels agricoles adaptés aux besoins des utilisateurs et surtout aux conditions de milieu où ils seront utilisés.

Pour cela des informations relatives aux moyens utilisés pour la mise en place d'une culture sont nécessaires.

Actuellement, un certain nombre de constructeurs de tracteurs et de machines agricoles équipent les tracteurs et même certaines machines agricoles avec des systèmes d'acquisition des données incorporés. Ces systèmes sont utilisés pour la collecte de plusieurs informations des agrégats agricoles et sont exploités pour l'amélioration et l'optimisation des caractéristiques techniques des machines agricoles. Les données collectées sont ensuite structurées dans un système intégré (**base de données**).

Notre travail portera donc sur la **conception** d'un **programme informatique** pour l'**évaluation des besoins en énergie** (consommation du combustible) pour la mise en place d'une **céréale (blé)**.

Ce programme informatique constituera un outil indispensable pour l'établissement d'une base de données qui regroupera des informations sur les besoins en énergie pour différentes régions en fonction de leurs caractéristiques géographiques, pédoclimatiques et en fonction de la spéculation à mettre en place. L'intérêt de ce programme ou logiciel est

de permettre de développer un système d'informations permettant une gestion précise du parc tracteur - machines agricoles.

Notre travail est structuré comme suit :

En première partie (bibliographie), il sera question de mettre en évidence l'importance de la consommation énergétique en agriculture et plus particulièrement lors des techniques de la mise en place des grandes cultures. Nous verrons successivement l'importance de l'énergie utilisée en agriculture dans le monde et en Algérie.

En deuxième partie, il s'agira d'exposer, les besoins en énergie pour chacune des étapes de la mise en place d'une grande culture dans notre cas il s'agira du blé. Cette partie portera sur la mise en évidence des principales méthodes d'évaluation de la consommation en énergie pour les opérations de préparation du sol.

En troisième partie, Notre contribution portera sur l'établissement d'un programme informatique permettant l'évaluation des besoins en énergie (consommation de carburant) pour la mise en place d'une céréale, le blé.

Ce programme informatique sera un outil intéressant pour l'agriculteur, car il lui permettra d'évaluer sa consommation en carburant pour la mise en place d'une grande culture et lui permettra également de choisir le type et la puissance du tracteur à utiliser dans des conditions prédéfinies.

Outre ceci, 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, cette base de donnée sera nécessaire pour l'établissement d'une "carte nationale de consommation d'énergie" nécessaire pour la réalisation des campagnes labours - semilles.

# PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## Chapitre 1. Energie et Agriculture dans le monde

### 1.1. Introduction

---

De tout temps l'agriculture utilise 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.

### 1.2. 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 (Anonyme, 2001).

### **1.3. 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.

Le pétrole et le charbon ne possèdent pas la même valeur énergétique : 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, une tonne de pétrole correspond à 1,5 tonne de charbon ou à 1 000 m<sup>3</sup> de gaz naturel. On estime que 1 tep = 4 500 kWh.

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 %. (Larousse agricole)

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 requis pour la même quantité de blé produite (1kg) est de 1 litre, ce litre de pétrole représente 66,66% de l'énergie totale 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 total et 2,5 litres de pétrole qui représente 71,43% de l'énergie totale.

### **1.4. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture**

---

Les risques réels d'épuisement des sources d'énergies non renouvelables à terme ont fait considérer de plus en plus les sources d'énergies renouvelables, les premières à être exploitées par l'Homme. Par exemple, le bois — ou plus généralement la biomasse — représente le combustible le plus courant 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 d'importantes masses d'eau lors des marées ; l'énergie éolienne tire partie 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.

#### **1.4.1. 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 (Anonyme, 2001). Cette forme d'énergie prend de plus en plus d'importance dans le monde.

#### 1.4.2. 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.

#### 1.4.3. 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 partie 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 disponible dans la nature nécessitent cependant des processus de transformation souvent plus complexes et très coûteux pour les utiliser.

### 1.5. 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)

Enfin, au niveau de cette première partie, il a été question de présenter succinctement l'importance de l'énergie et ses différentes formes 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 2. Energie et Agriculture en Algérie

### 2.1. Introduction

---

L'Algérie possède la première entreprise africaine de l'énergie. Elle occupe le 12<sup>e</sup> rang mondial et est représentée par la SONATRACH (**S**ociété **N**ationale pour la recherche, la production, le **TR**ansport, la transformation et la **C**ommercialisation des **H**ydrocarbures) pour ce qui est des hydrocarbures ; pour l'électricité c'est l'entreprise SONELGAZ (**S**ociété **N**ationale de l'**E**lectricité et du **G**AZ) qui exploite ces ressources.

Selon l'A. D. E. M. E ( **A**gence de l'**E**nvironnement et de la **M**aitrise de l'**E**nergie ) 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** ).

## **2.2. 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 ne donnent aucune information sur l'énergie consommée en agriculture ni dans d'autres 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.

## **2.3. Autres formes d'énergie utilisées en agriculture**

---

Mise à part l'énergie fossile, une autre forme d'énergie est utilisée en Algérie avec abondance, 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 n'est prévue pour le moment. L'énergie nucléaire est totalement absente en Algérie pour le moment.

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

# DEUXIEME PARTIE : BESOINS EN ENERGIE ET METHODES D'EVALUATION

## Chapitre 3. Besoins énergétiques pour la production d'une céréale (Blé)

### 3.1. Introduction

---

Dans le secteur de l'agriculture, le secteur des céréales se ressent particulièrement des problèmes d'inefficacité et d'obsolescence technologique. 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, selon la FAO, l'Algérie s'était classée 33ème producteur de blé avec 2,6 millions de tonnes et 6ème consommateur de blé 184,8 kg par personne et par an. En 2002 l'Algérie a été 4ème 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.

Dans les pays appelés communément en voie de développement comme l'Algérie, on constate que l'on y consomme à la fois trop peu et trop d'énergie et qu'il faut à la fois augmenter et économiser de l'énergie dans l'agriculture.

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 cette partie, l'intérêt sera porté sur la part de l'énergie consommée au niveau de chacune des différentes étapes de l'itinéraire technique pour la mise en place d'une grande culture. Pour cela nous choisirons le blé qui occupe la surface agricole la plus importante. Cette surface est d'environ 47% de la Surface Agricole Utile.

En système de "grandes cultures", la consommation d'énergie dépend principalement des modes de culture : niveau de fertilisation, irrigation et 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 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 et al (1992), 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 direct tout en gardant des réserves sur le semis direct dans les sols dis lourd ou à forte cohésion mais qui reste valable au sud dans l'agriculture saharienne dont les sols sont dit léger à très faible cohésion qui peut même être inexistante.

Catherine Rieu (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.

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 de 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 et 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'énergie 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.

### 3.2. Le déchaumage

---

Dans Anonyme (1979) une Etude du C.N.N.E.M.A, 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.

### 3.3. 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'augmenter 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 Anonyme (1979) étude du C.N.E.E.M.A, la consommation de fuel pour

le labour varie de 15 à 33 l/ha pour les profondeurs 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. Le temps de labour d'un hectare 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 mise en place de la culture (Kessira, 1988).

Pour Barthélemy et al (1992), le temps et la consommation du 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 et
- Sol caillouteux le labour est fait en 2h 50 à 3h 30 pour une consommation de 35 à 45 l/ha

Nous constatons que le type de sol (texture et structure avant l'intervention) a un effet sur les besoins en énergie, il serait donc nécessaire de répartir les tracteurs en fonction de leurs puissances en tenant compte du type et de l'état du sol au niveau national ; d'où l'intérêt de l'évaluation des besoins en énergie en fonction de la région agricole considérée.

### 3.4. Les pseudo labours (Reprise du labour)

---

Viens après le labour pour compléter la préparation du sol et diminuer le volume des mottes laissées par le labour. Elle permet de mélanger les 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'émiettement excessif du sol et l'érosion.

Le recroisement avec un tracteur de 65cv et cover-crop nécessite 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. Avec un pulvérisateur léger la consommation est 4 l/ha de fuel d'après Anonyme (1979) étude du C.N.E.E.M.A.

### **3.5. 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. Avec un rouleau lisse la consommation est 5 l/ha et avec un rouleau Croskill la consommation est 6 l/ha. D'après Anonyme (1979) étude du C.N.N.E.M.A.

D'après Kessira (1988), le temps nécessaire pour un roulage est 0h 24 mn/ha avec un tracteur 48cv et un rouleau Croskill.

### **3.6. Le semis**

---

Est effectué de la mi-novembre à la mi-décembre. La densité de semis du blé tendre est comprise suivant les zones entre 200 et 350 grains/m<sup>2</sup>. Nous nous intéressons aux semoirs mécaniques préalablement réglés. La profondeur de semis est de 2 à 4 cm, en conditions 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 porté sur le temps de réalisation de cette opération.

En effet selon Anonyme, ITGC (2003), avec un tracteur de 65cv, un semoir de largeur de travail de 2,6 mètres nécessitera 90 mn / ha. Selon Kessira (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.

### **3.7. La fertilisation, le traitement, le transport et la manutention**

---

Toutes ces opérations nécessitent un tracteur dont la puissance est sensée être 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 : Epandage d'engrais de fond avec un épandeur et un tracteur de 65cv. Epandage 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 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.

Le bottelage nécessite une ramasseuse presse et un tracteur de 65cv.

### 3.8. La récolte

---

D'après Anonyme, ITGC (2003) l'utilisation de la moissonneuse batteuse 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 travail. La consommation en carburant de la moissonneuse batteuse ne doit pas être loin de la consommation préconisée par le constructeur.

Le graphique sectoriel, nous offre une répartition temporelle de l'itinéraire technique pour la culture de blé. Donc le labour et le pseudo labour nécessitent plus de temps et donc plus d'énergie par rapport aux autres opérations.

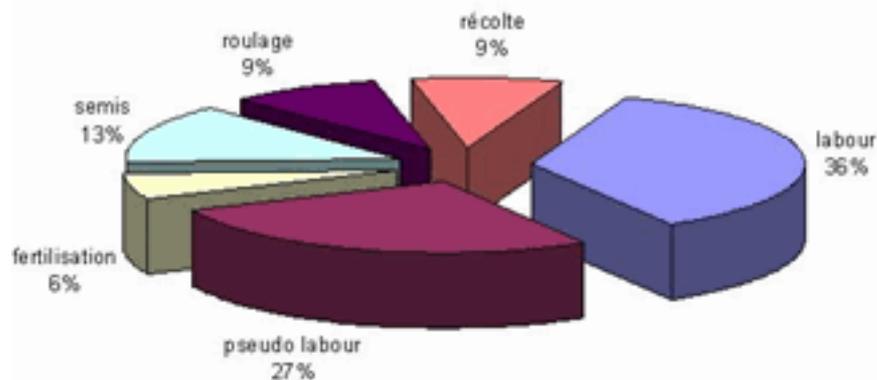


Fig. 1 : Répartition de la consommation en énergie pendant l'itinéraire technique pour la mise en place d'une céréale blé.

### 3.9. Conclusion

---

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

La consommation d'énergie et le temps de réalisation des différentes techniques culturales, pour la production d'une grande culture telle que la céréaliculture, 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, c'est-à-dire la préparation du sol et notamment les labours, est celle qui consomme le plus d'énergie et nécessite le plus de temps. De sa réussite dépend celle du développement de la culture mise en place.

Tenant compte de l'importance des besoins en énergie consommée pour la préparation du sol et notamment des labours pour la mise en place d'une grande culture, il sera indispensable de présenter les principales méthodes de détermination de la consommation en énergie.

Tenant compte aussi de l'absence de statistiques et de données fiables relatives aux besoins en énergie pour la mise en place des cultures, un intérêt particulier doit être porté à ce sujet.

Dans ce dessein, la ou les méthodes utilisées, pour l'évaluation des besoins énergétiques en agriculture doivent être précises et surtout fiables pour éviter une surévaluation qui entraînerait des pertes inutiles de carburant ou une sous évaluation de ces besoins qui entraînerait un mauvais choix du type de tracteurs à utiliser d'où une mauvaise réalisation des opérations de travail du sol.

## Chapitre 4. Méthodes d'évaluation de la consommation en énergie

### 4.1. Introduction

---

Dans cette partie du document nous présenterons les différentes méthodes de calcul de la consommation d'énergie dans un itinéraire technique agricole ainsi que les différentes composantes de chaque méthode que nous utiliserons dans notre programme informatique pour générer une base de données vue l'importance de cette évaluation d'énergie.

Une fois que l'importance de l'évaluation de l'énergie consommée dans la mise en place d'une grande culture (blé) est mise en évidence dans la partie précédente (chapitre précédent), nous essaierons dans celui-ci 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 (usure, rendement du moteur, ... ) et celles liées aux types de machines et leurs caractéristiques géométriques. En plus des composantes des méthodes de calcul, nous nous baserons aussi sur les critères suivants : l'exhaustivité, la précision, la fiabilité et la faisabilité

### 4.2. Méthodes classiques (réservoir plein)

---

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

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

Puissance de traction Pt (cv)

Consommation spécifique g (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 que 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, 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 usé est augmentée, par conséquence la consommation horaire est augmentée. La seconde condition qui augmente la consommation horaire du tracteur « consommation d'énergie » 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 le sol pour le travail qui lui est assigné. Après un certain nombre d'heures de travail l'outil est usé, en réalité se sont les pièces travaillantes qui s'usent, cette usure affecte directement l'angle d'affûtage qui va être remplacé par une courbure. Dans ce cas 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 dans la consommation horaire du tracteur. La troisième condition qui augmente la consommation horaire d'un tracteur agricole sont : les conditions de travail. 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 augmenter la consommation horaire d'un tracteur dans un travail donné exemple un mauvais conducteur, ces conditions sont négligées et nous supposons toujours que le conducteur est qualifié pour garder le même exemple.

### **4.2.1. Estimation prévisionnelle de la consommation de carburant**

L'estimation la plus difficile d'après Amar M (1994) est celle qui concerne les dépenses prévisionnelles de carburant pour les tracteurs et les machines automotrices, car ce type de matériel est assez polyvalent. Des éléments autres que les caractéristiques du moteur peuvent influencer cette consommation. Certaines caractéristiques du tracteur lui-même (répartition des masses, rendement de la transmission, dimension des pneus) ainsi que les précautions prises lors de l'utilisation (particulièrement le choix de combinaison des vitesses, choix du tracteur et de la machine en fonction de leurs caractéristiques réciproques), et de la nature des travaux à exécuter. Nous ajouterons à cela les caractéristiques du sol qui sont très hétérogènes et les conditions dans lesquelles évolue tout cet ensemble.

### **4.2.2. Méthode d'estimation de la consommation à la prise de force**

Les mesures effectuées à la prise de force dans 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.

D'après Anonyme (1974) dans 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%).

### **4.2.3. Origines principales des excès de la consommation du carburant**

Lorsque le moteur du tracteur a conservé des niveaux de consommation assez voisine de ceux d'origine, il est 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 aux niveaux de l'utilisation de la puissance du moteur.

Nombre de chercheurs ont mis en évidence la fluctuation de la consommation en énergie dans les différentes conditions de travail du sol.

On remarque que la consommation augmente avec l'augmentation de la profondeur de travail ainsi que celle de la largeur de travail.

La consommation augmente aussi en fonction de la résistance spécifique du sol.

La variation de la consommation est aussi due aux caractéristiques (géométries et tailles) des outils ainsi qu'aux conditions de travail.

Pour illustrer l'origine des pertes et leurs pourcentages, nous reproduisons le schéma suivant :

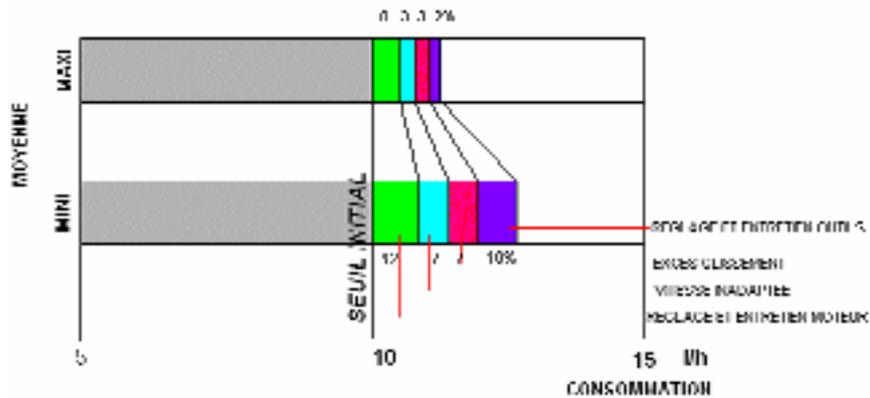


Fig. 2 : origines principales des excès de consommation.

Dans la figure 2 qui montre les principales origines des excès de consommation on peut remarquer que :

- Un mauvais réglage et entretien du moteur augmentent la consommation du carburant entre 8 et 12%
- Une vitesse inadaptée augmente la consommation du carburant entre 3 et 7%
- Un excès de glissement augmente la consommation du carburant entre 3 et 7%
- Un mauvais réglage et un mauvais entretien des outils attelés au tracteur augmentent la consommation du carburant entre 2 et 10%

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

### 4.3. Méthodes de la capacité de travail W

Consiste à définir cette énergie par le temps de réalisation d'une opération donnée pour une unité de surface (ha/h) définie par la capacité de travail qui est calculée à l'aide de la relation suivante :

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

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 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. Cette relation conviendrait aux régions caractérisées par des sols dits légers. Dans le cas de cette relation, une conversion est nécessaire pour déterminer la consommation en énergie.

Il faudrait avoir une valeur d'énergie consommée par unité de surface, dans notre cas c'est l'hectare.

#### **4.4. Méthodes utilisant l'effort de résistance à la traction Ft**

---

Concerne l'évaluation des besoins en énergie par l'intermédiaire de l'effort de résistance à la traction, noté Ft, qu'oppose le sol à l'avancement de l'outil.

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 la forme géométrique des outils de celui de l'état du sol.

En effet, cette méthode permet de déterminer les besoins en énergie au niveau 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.

Le choix de ce paramètre est très important pour le choix de la puissance du tracteur à utiliser.

##### **4.4.1. L'effort de résistance à la traction**

Obtenu généralement par modélisation ou évalué de manière empirique. Plusieurs essais sont cependant nécessaires pour la validité et la fiabilité des modèles proposés.

##### **4.4.1.1. Analyse de l'effort de résistance à la traction**

Lors de son travail, l'outil aratoire est soumis à l'action de plusieurs forces élémentaires qui agissent sur l'arête tranchante du soc et sur le versoir pour la charrue à soc, pour les outils à dents, ces forces agissent en premier sur le soc puis sur le support du soc, c'est-à-dire la dent.

Le mode d'action du sol, sur ces deux formes de pièces, est très différent ; sur les surfaces gauches des versoirs les différentes composantes de la force résultante agissent suivant les trois directions de l'espace, par contre les forces agissant sur les outils à dents ont pour direction le sens du déplacement de l'outil.

Les forces appliquées sur les outils aratoires sont classées en trois catégories :

- Forces appliquées sur les pièces travaillantes (soc et versoir)
- Forces appliquées par le tracteur sur l'outil
- 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 :

$$F_t = F_t' \times B$$

Avec :  $F_t'$  : 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 et de Wheeler (1996) ont mis en évidence deux efforts, le premier horizontal noté  $H_t$  et le second vertical noté  $V_t$ .

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

#### **4.4.1.1.1. Théorie des composantes de l'effort de résistance à la traction pour la charrue à socs**

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

La résultante est décomposée en forces horizontales (dans le plan XOY) et verticales (dans les plans XOZ et YOZ). Les positions des différentes composantes de la force de résistance à la traction sont étroitement liées à la forme des surfaces actives des pièces travaillantes.

- 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 :

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

Avec :

**F<sub>1</sub>** : 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.

**F<sub>2</sub>** : 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  $\alpha$ .

**F<sub>3</sub>** : 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  $\beta$ .

**F<sub>4</sub>** : 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).

**F<sub>5</sub>** : 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.

**F<sub>6</sub>** : 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.

**F<sub>7</sub>** : 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 :
  - A la poussée latérale du sol sur la surface active du corps de charrue à socs.

- Aux frottements sol versoir.
- A l'enfoncement et le 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.

#### 4.4.1.1.2. Evaluation de la résultante de l'effort

Dans le repère (o, x, y, z) orthogonal, la force  $F_t$  se décompose en forces élémentaires reliées par la relation suivante :

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

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

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

$$F_y = F_x \times \tan \varphi = 1/3 F_x$$

Sandru A. in Ben Alaya A. (1990)

où:

k : coefficient de déformation du sol (résistance spécifique)

a : profondeur de travail

b : largeur de travail

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

La valeur négative de  $\psi$  correspondant au soc usé.

$$F_z = F_x \times \tan \psi = \pm 0,2 \times F_x$$

Le support de  $F_{yz}$  fait un angle  $p$  avec l'axe oy  $\tan(p) = \tan \Phi / \tan \psi$ .

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.

#### 4.4.2. 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 ou gauche comme les surfaces actives des corps des charrues à socs
- Les seconds pour les outils à surfaces simples comme les pièces travaillantes des outils à dents

##### 4.4.2.1. Présentation de certains modèles

Dans ce qui suit, nous présenterons les principaux modèles établis par des spécialistes, en rappelant les principaux paramètres introduits dans ces modèles.

- Modèle de Gorjatschkin et Soehne (1960)

$$F_t = [f \times G] + [K \times a \times b \times n] + [\varepsilon \times a \times b \times v^3]$$

- $F_t$  : 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 ( $0,29 < f < 0,50$ )
- $\varepsilon$  : Coefficient de forme du versoir ( $30\,000 < \varepsilon < 100\,000 \text{ N/m}^3$ )
- $K$  : Coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre avec :
  - $K < 20\,000 \text{ (N/m}^2\text{)} \Rightarrow$  Sols légers
  - $40\,000 < K < 60\,000 \text{ (N/m}^2\text{)} \Rightarrow$  Sols moyens
  - $60\,000 < K < 100\,000 \text{ (N/m}^2\text{)} \Rightarrow$  Sols lourds.

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

Ce modèle prend en considération l'état du sol, la forme de la surface active et les conditions de travail. Plusieurs travaux de recherche utilisent cette relation, mais celle-ci est simplifiée, d'une part, les charrues à socs sont généralement portées et la difficulté de donner une valeur au coefficient de forme  $\varepsilon$ . 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 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.

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

- $R$  : Effort résistant de la charrue (KN)
- $b$  : Largeur de travail (m)
- $a$  : Profondeur de travail (m)

- $\gamma$  : Masse volumique du sol (KN/m<sup>3</sup>)
- C : Cohésion du sol (Kg/dm<sup>2</sup>)
- $\Phi$  : Angle de frottement interne du sol (°)
- v : Vitesse de travail (m/s)
- g : Constante de gravité (m/s<sup>2</sup>)
- **Modèle de Binesse (1970)**

Ce modèle est le résultat d'une simplification du modèle Larson et al par 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 (dm<sup>2</sup>)
- C : Cohésion du sol (daN/dm<sup>2</sup>)
- $\Phi$  : 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.

- Modèle de Oskoui 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).

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

- G : Résistance unitaire de la charrue (KN/ m<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : Masse volumique du sol (KN/m<sup>3</sup>)
- $\Phi$  : angle de frottement interne du sol (°)
- CI : Cône index du sol (KPa)
- g : Constante de gravité ( m/s<sup>2</sup>)
- v : Vitesse de travail ( m/s )
- K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> : Constantes dépendantes des caractéristiques du sol.

Les chercheurs ont exprimé le cône index du sol en fonction de sa teneur en eau (mc) et de sa masse volumique ( $\rho$ )

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

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

- Modèle de Gee Clough et AL (1972)

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

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

- R : Effort résistant (KN)
- a : Profondeur de travail (m)
- b : Largeur de travail (m)
- $\gamma$  : Masse volumique du sol (KN/m<sup>3</sup>)
- v : Vitesse de travail (m/s)
- g : Constante de gravité (m/s<sup>2</sup>)
- Modèle de Qiong et AL (1986)

Modèle semi empirique

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

- R : Effort résistant de la charrue (KN)
- $\gamma$  : Masse volumique du sol (KN/m<sup>3</sup>)
- a : Profondeur de travail (m)
- v : Vitesse de travail (m/s)
- b<sub>1</sub> : 1,5 m/s<sup>2</sup>
- b<sub>2</sub> : 0,228 m

Ces trois derniers modèles semblent plus intéressants, car ils mettent en évidence les paramètres les plus importants. Nous remarquerons cependant que seul Gorjatchkin fait intervenir la forme de la surface active, mais le coefficient de forme  $\epsilon$  est très difficile à déterminer, d'où la simplification du modèle proposé.

- Modèle de Boubrit (2000)

Modèle obtenu à partir d'analyse dimensionnelle et du théorème Buckingham Vachy

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

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

- R: Force horizontale qui s'exerce sur la dent ou résistance à la traction.
- c : Cohesion du sol. (daN/cm<sup>2</sup>)
- CI: Cône Index. (daN/cm<sup>2</sup>)
- d : Densité apparente sèche. (daN/cm<sup>3</sup>)
- l : Largeur de la dent. (cm)

- P: Profondeur de travail. (cm)
- a: Angle d'entrure. (°)

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 la charrue à socs le modèle mathématique établi par la méthode de Buckingham-Vachy, en utilisant l'analyse dimensionnelle est le suivant :

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

Comme l'angle d'attaque  $\gamma$  est pratiquement maintenu constant, le modèle s'écrit sous la forme :

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

Avec :  $\varepsilon = 1000$  pour la forme SACRA et  $\varepsilon = 10$  pour la forme ENPMA

- $v$  : vitesse en m/s
- $\alpha$  et  $\theta$  : Angles en radians
- $d_a$  : densité apparente en  $\text{kg/m}^3$
- $b$  : largeur de travail en m
- $k, k_1, k_2$  : Caractéristiques de forme sans unité.

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

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

Avec :

- $v$  : vitesse d'avancement (m/s),
- $\alpha$  : Angle d'inclinaison du soc par rapport à la surface du sol(°),
- $\beta$  : Angle de la partie incurvée de la lame (°),
- $\theta$  : Angle de pointe du soc (°),
- $S_c/S_p$  : rapport des surfaces de contact avec le sol et projetée sur le plan vertical,
- $d$  : Masse volumique du sol ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $b$  : largeur du soc (m).

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, qui consistent à choisir les modèles et à les 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 les plus fréquemment utilisés et qui sont les suivants :

- Pour les charrues à socs
  - **Le modèle** de Gorjatschkin et Soehne (1960)
  - **Le modèle de Gee Clough (1972)**
  - Le modèle d'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 d'Amara (2007)
  - Le modèle de Boubrit (2000)

### 4.4.2.2. 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  $g$  ( $m/s^2$ )
  - La profondeur de travail  $a$  (m)
  - La largeur de travail  $b$  (m)
  - La surface de contact  $S_c$
  - La surface projetée  $S_p$
  - La section du sol travaillé ( $dm^2$ )
- Les angles :
  - L'angle d'entrure  $\alpha$  ( $^\circ$ )
  - L'angle d'incurvation  $\beta$  ( $^\circ$ )
  - L'angle de pointe  $\theta$  ( $^\circ$ )
  - L'angle de frottement interne du sol  $\Phi$  ( $^\circ$ )
- Les coefficients :
  - Le coefficient de forme du versoir  $\varepsilon$  ( $N/m^3$ )
  - Le coefficient de résistance au roulement  $f$

- Le coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre  $k$  (N/m<sup>2</sup>)
- Le coefficient de correction  $C_r$
- Caractéristiques du sol:
  - La densité  $d$  (daN/m<sup>3</sup>)
  - La cohésion du sol  $C$  (Kg/dm<sup>2</sup>)
  - La masse volumique du sol  $\delta$  (KN/m<sup>3</sup>)
- Nombre de pièces travaillantes :
  - Le nombre de corps de charrue  $n$
  - Le nombre de dents  $N$

#### 4.4.2.3. 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, 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.

##### 4.4.2.3.1. Propriétés physiques du sol

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

###### 4.4.2.3.1.1. La texture du sol

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, 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.

Afin d'avoir une idée de l'ordre de grandeur de l'effort de résistance à la traction qu'oppose le sol à l'avancement d'une charrue sur trois types de sols à texture différentes,

nous reproduisons les résultats des essais réalisés au C.N.E.E.M.A (actuellement le CEMAGREF) et illustré dans le tableau suivant :

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

Tableau n° 1 : Variation de l'effort de résistance à la traction suivant le type de sol.

Source : Binesse M., (1970)

Profondeur de travail : 20 cm

Largeur de travail : 60 cm (Charrue bisocs de 12 pouces)

Section travaillée :  $20 \cdot 60 = 1200\text{cm}^2$

### 4.4.2.3.1.2. La structure du sol

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

Et selon Maniere 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.

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 M (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 et friable (faible cohésion) épouse la forme de l'outil et monte le long du versoir avant d'être pratiquement posé par le sillon précédemment exécuté.

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

### 4.4.2.3.1.3. La Porosité du sol

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.

$$P(\%) = \left( 1 - \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \right) \right) \times 100$$

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

$\gamma_s$ : Densité réelle, elle est définie par les éléments constituant du sol et qui est constante pour un sol donné.

Sol	Densité sèche	Densité humide	Porosité %
Sable homogène	1,43 - 1,75	1,98 - 2,09	46 - 37
Sable hétérogène	1,59 - 1,86	2,16 - 1,77	40 - 30
Argile	-	1,77 - 2,07	55 - 37

Tableau n° 2 : Quelques exemples de densité sèche et humide.

Terzaghi et Peck (1967)

#### 4.4.2.3.1.4. L'Humidité

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

$$Wh[\%] = [P_e / (P_e + P_s)] \times 100$$

$P_e$  : Poids d'eau (g)

$P_s$  : Poids à sec de l'échantillon (g)

$Wh[\%]$  : 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 :

$$W_s = (P_e / P_s) \times 100$$

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

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

$d$  : Densité apparente.

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

Nikoforov (1974) in Houyou (1989) a démontré que la résistance à la traction diminue presque linéairement avec l'humidité du sol jusqu'à 20%, (valeur moyenne de la capacité au champ), au-delà de cette valeur les opérations de travail du sol sont à proscrire, notamment

sur des sols à texture argileuse. Au-delà de cette valeur l'effort de résistance à la traction devient plus important.

Lors des opérations de travail du sol, la teneur en eau du sol a une grande importance que ce soit du point de vue agronomique que du point de vue énergétique.

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.

### **4.4.2.3.2. Propriétés mécaniques du sol**

Pendant son travail, le sol est fortement sollicité par les pièces travaillantes et réciproquement. En effet le sol subit un certain nombre de forces de compressions, de flexion, de torsion, d'écoulement, de cisaillement, accompagné du phénomène d'adhérence (Dalleine (1971)).

Ces forces sont classées d'après le même auteur, en fonction de leurs modes d'actions et de leurs directions, relativement au sol et à l'outil.

En effet, le sol réagit à trois types de forces :

- Les forces de compressions qui sont des forces perpendiculaires à la surface de la pièce travaillante,
- Les forces de cisaillements qui sont tangentes ou parallèles aux surfaces actives des pièces travaillantes,
- Les forces de torsions qui représentent les résultantes des deux forces précédentes.

Ces différentes forces, par le biais des pièces travaillantes qui agissent sur le sol entraînent des perturbations au niveau de la structure du sol pour lui conférer une certaine porosité.

Outre ces forces, il existe des forces dites externes, il s'agit principalement des forces de frottements qui ne sont pas à négliger.

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.

L'ensemble de ces forces consomme de l'énergie qui serait nécessaire d'évaluer avec précision. Leurs intensités sont étroitement liées aux propriétés mécaniques du sol et plus particulièrement sa cohésion au moment de l'intervention mécanique.

#### **4.4.2.3.2.1. 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 du sol à la pénétration d'un cône d'un pénétromètre de dimensions normalisées d'où la notion de cône index (CI).

Physiquement, le cône - index peut être défini 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.

#### **4.4.2.3.2.2. Cisaillement**

Au XVIII<sup>e</sup> 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 3), 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.

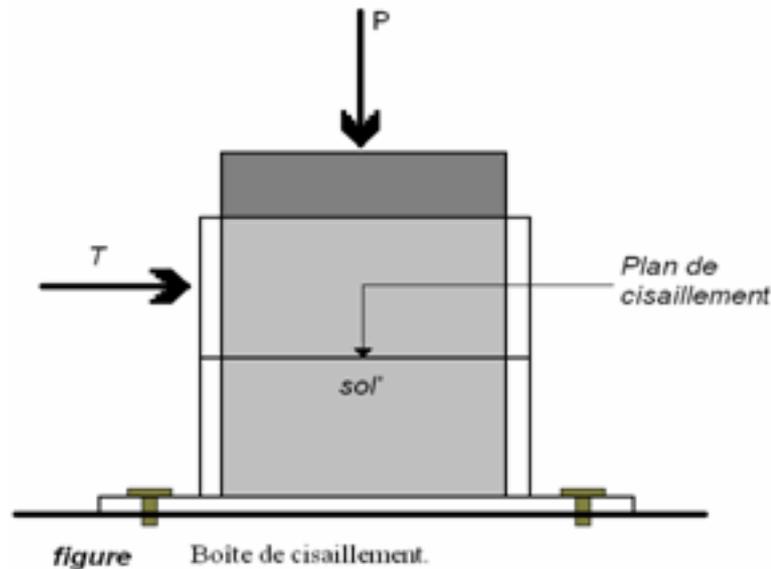


Fig. 3 : boîte de cisaillement

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  $\text{Kg/dm}^2$ .  $C$  ; 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  $\Phi$  est l'angle de frottement interne du sol Binesse (1970).

· Les équations de rupture

Lors de ses recherches, Coulomb remarqua que la résistance au cisaillement à la rupture ( $\tau$ ) était directement proportionnel à contrainte normale ( $\sigma$ ) : 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 :

$$\tau = c + (\sigma \times \text{tg}\phi)$$

·  $\sigma$ : charge normale ( $\text{Kg/cm}^2$ )

·  $c$ : Cohésion apparente du sol ( $\text{Kg/cm}^2$ )

- $\tau$ : Résistance au cisaillement ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- $\Phi$ : Angle de frottement interne du sol.

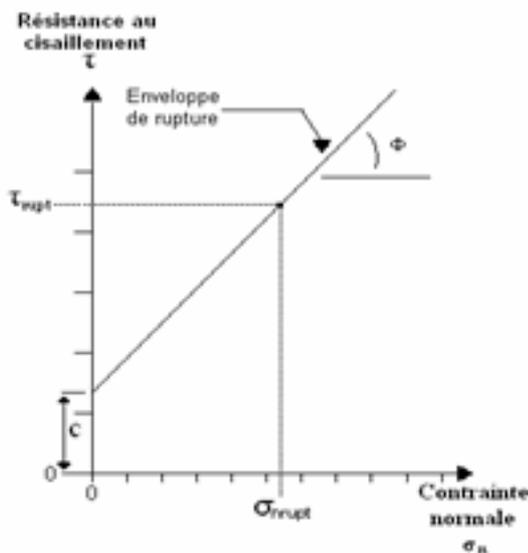
Pour les sols très légers (pulvérulents), la cohésion est nulle, la résistance au cisaillement n'est fonction que de  $\Phi$  et l'équation prend la forme suivante :

$$\tau = \sigma \times \text{tg}\phi$$

$\Phi$  varie selon la texture Dalleine (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  $\tau$  correspondant à  $\sigma$ . 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

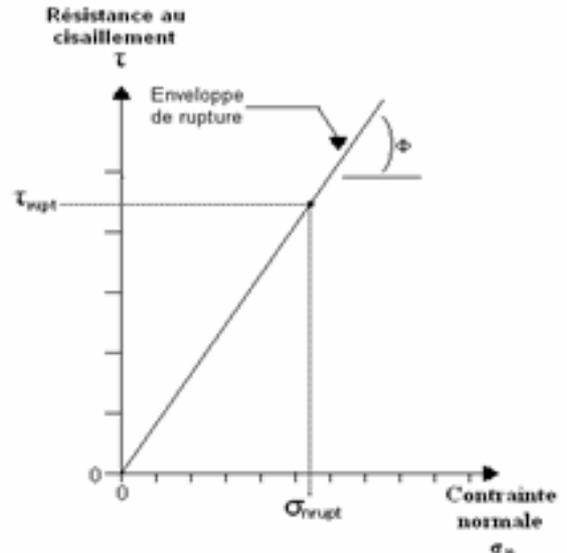


Figure Graphiques de l'équation de Coulomb

Fig. 4 : 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,  $\sigma$  et  $\tau$ , 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. En génie civil les ingénieurs se demandent quelles conditions peuvent entraîner l'accroissement des contraintes sur le plan de cisaillement. De telle sorte qu'il se produise un glissement de sol et qu'on estime qu'il y a rupture. Dans la plupart des cas, c'est une augmentation importante de la contrainte verticale ( $\sigma_1$ ) faisant suite à l'application d'une surcharge à la surface du sol qui cause la rupture. En agriculture dans un travail du sol labour par exemple le soc d'une charrue tracté « tracteur agricole » provoque le cisaillement du sol dans le but de retourner la bande de terre et c'est là où on peut observer un autre phénomène le frottement. La résistance au cisaillement est causée par le frottement, l'enchevêtrement et les forces de la cohésion entre les particules. Les facteurs

qui agissent sur ces trois causes auront évidemment une grande influence sur la valeur de l'angle de frottement interne  $\Phi$  et de la cohésion  $c$ . Ces paramètres varient d'un sol à un autre, surtout en fonction de certaines propriétés physiques, de la compacité (principalement en génie civil), 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 la résistance au cisaillement devrait être élevée.

### 4.4.2.3.2.3. 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 :

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi = \frac{T}{N}$$

- T : Force de résistance au frottement
- N : Force normale à la surface travaillante
- $\varphi$  : Angle de frottement externe.

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

Les valeurs de  $\mu$  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%.

### 4.4.2.3.2.4. 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 et AL, (1969) ; Dalleine (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.

### 4.4.2.4. Paramètres liés aux caractéristiques géométriques des outils aratoires

Comme les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, les caractéristiques géométriques des outils aratoires ont un intérêt primordial dans l'évaluation de l'effort de résistance à la traction donc dans l'évaluation de l'énergie.

#### 4.4.2.4.1. Forme générale des outils à surfaces 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.

### 4.4.2.4.1.1. 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 (1971) et Sandru (1975) sont comme suit :

- Angle d'entrure ( $\alpha$ )
- Angle d'attaque ( $\beta$ )
- Angle du dièdre ( $\theta$ )
- Angle de basculement ( $\lambda$ )

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

Angles en (°)	Longueurs arrière du versoir (pouce)				
	10	11	12	14	16
$\alpha$	20,7	22	22	25,5	25,5
$\beta$	36,5	40	41,5	42	42
$\theta$	32	34	32,5	32,5	35,5
$\lambda$	27	26,5	29,5	30	26,5

Tableau n° 3 : Angles du soc Dalleine (1962) :

Source : Annales Agronomiques (1962)

Comme le cisaillement est la première sollicitation du sol et que l'effort nécessaire que doit effectuer le corps de charrue est le plus important lors des labours, la variation même très faible de l'un de ces angles (particulièrement l'angle d'attaque) entraînerait un effort plus important sur le sol, d'où l'intérêt de leurs considérations pour l'évaluation des besoins en énergie pour les labours.

### 4.4.2.4.1.2. 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 labour.

Le tableau n° 4, donne les valeurs des angles et des dimensions (longueurs) des versoirs suivant les diverses formes existantes. Les longueurs d'un versoir sont définies comme suit :

- $L_1 = AL$  : Longueur maximale du corps
- $l_1 = BL$  : La plus grande dimension du versoir

- $L_2 = CI$  : 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 du 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 minimale
- $d_3 = MM'$  : Largeur du versoir au point de courbure maximale

Les angles sont exprimés par les relations suivantes :

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

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

Angles en (°)	Types de versoirs			
	Cylindrique	Universel	Semi-hélicoïdal	Hélicoïdal
$\vartheta$	35	31	-	35
$\delta$	53	46	46	46
$\varepsilon$	26	21	18	18
$\lambda$	40	34	34	31

Tableau n° 4 : Angles du versoir Selon Dalleine (1962):

Source : Annales Agronomiques (1962)

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

##### 4.4.2.4.2.1. 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

##### 4.4.2.4.2.2. 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.

#### 4.4.2.5. Paramètres liés aux conditions de travail

Les conditions de travail ont un effet certain sur l'effort de résistance à la traction d'où un effet sur la consommation en énergie.

##### 4.4.2.5.1. 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.

##### 4.4.2.5.2. 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 et AL (1985), Godwin (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.

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

Tableau n° 5 : variation de Ft en fonction du type du sol et de la vitesse

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

##### 4.4.2.5.3. 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 (1994), Bouzit G (1995), quelles que soient les conditions de travail, l'effort de traction de l'outil croît en fonction de la taille de l'outil ce qui peut être expliqué par la dimension de la surface de pression concernée.

##### 4.4.2.5.4. Influence des pièces travaillantes

Selon certains auteurs, Tanner et Dean (1963), O'cclaghan et Mccoy (1965), in I. Coulomb (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 I. Coulomb (1991).

##### 4.4.2.5.5. 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 adaptés 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.

#### 4.4.2.5.6. 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° 6 ci-dessous :

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

Tableau n° 6 : la caractéristique technique du tracteur à la prise de force.

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
- Puissance perdue aux transmissions.....6 CV
- Puissance perdue en roulement.....5 CV 18 CV
- Puissance perdue en glissement.....7 CV
- Reste de la puissance à la barre.....31 CV

Pour un travail dans des conditions normales, la moitié de la puissance nominale est reçue au niveau des pièces travaillantes 31 cv 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 inutiles le lest et les masses alourdissantes, donc une économie de la traction.

#### 4.4.2.6. Analyse des modèles choisis

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

Tableau n° 7 : Résultat de l'effort de traction pour un corps de la Charrue à socs La charrue est portée.

Source: BADOUNA. B (2002)

Forme	Modèle Binesse	Modèle Amara	Modèle Boubrit
<b>Soc de la dent rigide</b>	14.20daN	4.60daN	5.679daN
<b>Soc de la dent flexible</b>	14.20daN	11.633daN	8.06daN
<b>Soc de la dent simple</b>	14.20daN	9.824daN	8.06daN

Tableau n° 8 : Résultat de l'effort de traction pour une dent du Cultivateur à dents

Source: BADOUNA. B (2002)

A travers les résultats obtenus et rapporté dans le tableau N°7 et le tableau N°8 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, Amara et al. 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  $\epsilon$  (epsilon).

Selon Amara. M. (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.

Le modèle d'**Amara** au contraire présente une valeur très faible 4,60 daN pour les socs de la dent rigide. Cela s'explique par le fait que l'établissement du modèle a été réalisé dans des conditions de sol à structure très légère, sol sableux limoneux et à des vitesses relativement faibles qui sont comprises entre 0,27 et 0,87 m/s.

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 obtenu.

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.

## 4.5. Critiques des différentes méthodes

Précision et fiabilité en fonction des moyens utilisés

Avantages et inconvénient des méthodes de calcul de l'énergie

- méthode du réservoir plein : cette méthode permet d'évaluer le carburant consommé dans des conditions bien définies. 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. Toutefois, elle nous permet d'avoir une idée globale sur la consommation d'énergie pour un itinéraire technique donné, la fiabilité reste dépendante des données livrées par le constructeur du moteur et n'apparaît 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 directement de la fiche technique du constructeur où la valeur de la consommation horaire est convertie directement en tonne d'équivalent pétrole (Tep). Cependant, 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.

- méthode de la capacité de travail : Cette méthode reste très générale 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.
- méthode de l'effort de résistance à la traction : est la méthode la plus précise des trois, elle n'est utilisée que par des spécialistes dans domaine agricole ainsi que des chercheurs et concepteurs. Un simple agriculteur (non agronome) ne pourra pas utiliser cette méthode.

### Conclusion

---

L'analyse faite dans ce chapitre nous permet de faire ressortir deux méthodes de calcul de l'énergie consommée dans une préparation du sol (itinéraire donné). Aussi les composantes des deux méthodes pour obtenir ce qui suit :

Méthode du réservoir plein  $Gh = g_s \times Pt$  (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 de Gorjatschkin (1920) et le modèle de Gee Clough (1972) enfin pour les outils à dents le modèle de Binesse (1970), le modèle d'Amara (2007) et le modèle de Boubrit (2000). Les composantes de chaque modèle sont précisées dans les paragraphes précédents. Toutes ces informations traitées 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.

Enfin, nous devons signaler le nombre très important de paramètres influençant la consommation en énergie lors des opérations de préparation du sol. Pour une évaluation la plus précise possible il est indispensable d'introduire tous ces paramètres dans le programme informatique afin de générer une base de données et pour la détermination de la consommation d'énergie, que nous proposerons dans ce travail.

## Chapitre 5. Les bases de données et les systèmes d'informations

### 5.1. Introduction et définition :

---

Comme l'objectif principal de notre travail est de proposer un outil informatique indispensable à l'établissement d'une base de données relative aux besoins énergétiques pour la mise en place d'une grande culture ; il nous semble nécessaire de donner au préalable quelques notions fondamentales sur les bases de données.

Il est difficile de donner une définition exacte de la notion de base de données. Deux définitions pourraient être proposées en relation avec le support utilisé de l'information :

- Avant l'existence de l'outil informatique,

Une base de données est un ensemble organisé d'informations avec un objectif commun. Avant l'ère de l'informatique, Peu importe le support utilisé pour rassembler et stocker les données (papier, fichiers, etc.), dès lors que des données sont rassemblées et stockées d'une manière organisée dans un but spécifique, on parle de base de données.

Plus précisément, on appelle donc une base de données, un ensemble structuré et organisé permettant le stockage de grandes quantités d'informations afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données).

- **Actuellement avec le développement des moyens informatiques,**

Une base de données informatisée est un ensemble structuré de données enregistrées sur des supports accessibles par l'ordinateur, représentant des informations du monde réel et pouvant être interrogées et mises à jour par une communauté d'utilisateurs, dans notre cas les utilisateurs seront plus particulièrement des agronomes.

### 5.2. Différents modèles de bases de données

---

Après ces brèves définitions, et en fonction de leurs utilisations, différentes formes de bases de données existent. Entre autres, les bases de données peuvent être de type :

- Modèles Hiérarchiques

Une base de données hiérarchique est une forme de système de gestion de base de données qui lie des enregistrements dans une structure arborescente de façon à ce que chaque enregistrement n'ait qu'un seul possesseur.

- Modèles réseaux

Le modèle réseau est en mesure de lever de nombreuses difficultés du modèle hiérarchique grâce à la possibilité d'établir des liaisons entre objets pouvant exister sans restriction. Pour retrouver une donnée dans une telle modélisation, il faut connaître le chemin d'accès (les liens) ce qui rend les programmes dépendants de la structure de données. Ce modèle de bases de données a été inventé par C.W. Bachman. Pour son modèle, il reçut en 1973 le prix Turing.

- Modèle relationnel

Une base de données relationnelle est une base de données structurée suivant les principes de l'algèbre relationnelle. Ce type de base de données est proposé par Edgar Frank Codd en 1960, informaticien chez IBM.

Ce type de base de données est utilisé principalement pour résoudre des difficultés rencontrées sur les modèles précédents, telles que la redondance des données, l'intégrité des données ou l'indépendance de la structure de la base de données avec sa mise en œuvre physique. C'est le modèle le plus utilisé dans le monde de l'industrie.

C'est celle qui convient le plus à notre travail car l'évaluation des besoins en énergie au niveau de l'agriculture dépend de plusieurs facteurs eux-mêmes interdépendants les uns les autres.

### · Modèle objet

La notion de *bases de données objet* ou *relationnel - objet* est plus récente et encore en phase de recherche et de développement. Elle sera très probablement ajoutée au modèle relationnel.

Ces différents modèles de base de données sont les plus fréquemment rencontrés. Avec l'évolution technologique et surtout informatique, ces dernières décennies, les bases de données *informatiques* ont investies tous les domaines de la vie courante. Elles sont devenues indispensables et incontournables pour toute étude ou prévisions au niveau de tous les domaines.

### **5.3. Bases de données relatives à la mécanisation agricole**

---

En Algérie et plus particulièrement en agronomie et surtout dans le domaine du machinisme agricole, les bases de données sont totalement absentes excepté dans les entreprises économiques (achat et vente de machines ou de pièces de rechange) où les informations sur les produits, les clients et les fournisseurs sont précieuses et indispensables pour l'activité commerciale.

Les organismes d'état et les institutions administratives, scientifiques ou de statistiques sont jusqu'à aujourd'hui en retard dans leur utilisation des bases de données informatiques. Ce retard est souvent du à une absence de base de données ou bien celles-ci sont limitées aux seuls paramètres, surtout commerciaux, qui sont pris en charge. Nous rencontrons donc un système d'information peu fiable et non exhaustif.

Le recueil et l'analyse de données standardisées, issues des pratiques professionnelles à propos d'un thème comme celui de la consommation de l'énergie pour la mise en place d'une culture, constitue une démarche peu répandue au sein de nombreuses organisations professionnelles, de sociétés ou de réseaux au niveau national.

L'organisation et le contenu de ces enregistrements peuvent prendre des formes variées, celle qui nous intéresse est la base de données, qui permet aux professionnels de l'agronomie d'analyser et d'évaluer leurs pratiques et en même temps de prévoir un équipement adéquat.

L'utilisation d'une base de données associée à une démarche d'amélioration de la qualité des pratiques ou techniques agricoles peut être reconnue comme une démarche d'évaluation de ces pratiques.

Pour répondre à toutes ces préoccupations, une base de données illustrant la réalité de la mécanisation agricole doit être le point de départ de toute étude relative à la mécanisation

de l'agriculture algérienne. En effet, avant toute importation ou fabrication ou répartition des équipements agricoles au niveau national, il est indispensable d'avoir des informations sérieuses et précises sur l'état actuel de la mécanisation.

Il est donc nécessaire en premier de mettre en place une base de données précise et pour cela il faudra donc un outil indispensable qui est le programme informatique qui permettra de récolter des données sur la mécanisation.

Il devient évident que les bases de données sont un domaine à exploiter dans le secteur agricole algérien qui manque crucialement d'informations structurées, fiables et intègres. Concevoir un outil informatique qui permettra de générer une base de données est un des objectifs fixé lors de ce travail.

Concevoir une base de données nécessite un certain nombre d'étapes aussi importantes les une que les autres.

En Conclusion et Tenant compte de l'objectif recherché, qui consiste en un établissement d'une base de données, le programme informatique proposé doit comporter plusieurs informations permettant l'enrichissement de la base de données.

Dans notre cas, il s'agira d'évaluer l'énergie consommée lors des travaux de préparation du sol dans un itinéraire technique d'une grande culture comme les céréales, ce qui est une source inestimable d'informations d'ordre technique et économique.

Pour cela les informations porteront sur :

- Les caractéristiques agrotechniques du milieu de production (le sol et région)
- Le type de spéculation (dans notre cas il s'agira des grandes cultures céréales)
- Le type d'opération à réaliser (travail du sol, semis, fertilisation, traitement et récolte)
- Le type de matériel et son état (tracteurs et machines agricoles)
- Les besoins en énergie

Toute ces informations seront nécessaires pour :

- Avoir des informations sur l'état actuel de la mécanisation des grandes cultures et de définir au moins l'indice de mécanisation et celui de la motorisation.
- Prévoir un équipement adéquat pour chacune des régions en fonction de leurs spécificités.
- Etablir une carte de la consommation en énergie pour les grandes cultures. Cette carte aura une grande utilité pour la répartition et le choix des moyens de traction au niveau national.

Pour cela, le programme informatique doit être distribué au niveau des différentes structures de production et de recherche dans le domaine agronomique et créer un réseau pour la collecte et la gestion des informations pour la mise en place de la base de données.

# TROISIEME PARTIE : ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME INFORMATIQUE

## Chapitre 6. Proposition d'un programme informatique pour la détermination des besoins en énergie pour la mise en place d'une culture

### 6.1. Introduction et objectifs

---

Avec les grands progrès actuels, les informations deviennent de plus en plus nombreuses et les délais de réaction, de plus en plus courts, faisant que l'homme est astreint d'utiliser les outils actuels de l'information.

Heureusement et cela n'est plus à démontrer, un outil est apparu et a révolutionné notre siècle : c'est l'ordinateur qui nous permettra de dominer à fond ce flot sans cesse croissant d'informations.

Cet outil extraordinaire devient de moins en moins volumineux, de plus en plus puissant, de moins en moins cher et de plus en plus facile à exploiter.

L'utilisation des moyens informatiques est de nos jours incontournable. En effet avec les programmes informatiques et le réseau Internet, l'acquisition et la diffusion de n'importe quelle information est devenue chose aisée.

Pour ce qui est de notre travail et, au niveau de cette partie, il s'agira donc de 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.
- L'établissement 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)

Cette base de données sera éventuellement exploitée pour la 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. L'intérêt d'une telle carte est l'optimisation de la répartition des tracteurs en fonction de leurs nombres et puissances au niveau des zones agricoles en tenant compte des caractéristiques pédologiques de ces zones et des besoins énergétiques de chaque région.

Pour la réalisation de ce programme, un certain nombre d'hypothèses ou des données doivent être prises en considération. Ces hypothèses et données ont été largement définies et justifiées dans la première partie du document (chapitres précédents), vu leurs importances, nous les reprenons succinctement dans ce qui suit :

## 6.2. Hypothèses de base pour la réalisation du programme informatique

---

Pour l'établissement du programme informatique nous devons définir ces limites. Les hypothèses de base sont : les modèles choisis sont utilisés malgré leur manque de précision. Par ce qu'il nous permettront de générer une base de données sur la quelle nous pourrons travailler dans le but d'améliorer les modèles existants ou bien pour proposer un nouveau modèle atteignant une précision de 5 à 3% d'erreurs.

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.

- Les unités utilisées sont les suivantes :
  - L'énergie en Tep (tonne équivalent pétrole)
  - Puissance du tracteur et puissance nécessaire à la traction des machines agricoles KW ou CV
  - Largeur, profondeur de travail des pièces travaillantes (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  $\epsilon$  ( $N/m^3$ )
  - 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  $\alpha$ , Angle d'incurvation Bêta  $\beta$  et Angle de pointe Thêta  $\theta$  (°) degré
  - Sc/Sp (rapport des surfaces) et N (nombre de pièces travaillantes) sans unité
  - Coefficient de correction Cr sans unité
  - Masse Volumique du sol  $\rho$  ( $KN/m^3$ )
  - Densité d ( $daN/m^3$ )

Ces différents paramètres sont ceux qui sont introduits dans les modèles de l'effort de résistance à la traction qui seront utilisés dans le programme informatique.

## 6.3. Moyens et Méthodes

---

### 6.3.1. Les moyens informatiques utilisés

Les moyens utilisés pour concevoir le programme sont un ordinateur P4 et un langage de programmation.

#### 6.3.1.1. Hardware

La configuration minimum de la machine préconisée est la suivante : Pour la rapidité de l'exécution du programme, nous conseillons :

- Un CPU d'au moins 2,80GHz

Définition du mot CPU : Central Processing Unit, ou Processeur. C'est l'unité de calcul d'un ordinateur, c'est en fait le coeur de l'ordinateur.

- Une RAM d'au moins 250 Mo

Définition du mot RAM, Random Access Memory. Désigne une mémoire vive.

#### 6.3.1.2. Software

Les software(s) utilisés pour la conception du programme sont le **Microsoft SQL server** pour les tables de la base de données et le **WINDEV** 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 XP Professionnel** version 2002 Service pack2.

Le programme DERT 1.0 est utilisé comme module appelé par le programme DEIT.

Pour plus de clarté, quelques définitions et bases fondamentales, pour la réalisation de notre programme informatique, sont données ci-dessous :

### 6.3.2. Quelques définitions des termes utilisés

#### 6.3.2.1. 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 faite 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 accèdera alors directement.

### 6.3.2.2. 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 intègrent le SQL pour les bases de données locales et pour les bases de données client/serveur. Le SQL utilisé dans notre programme est Microsoft SQL server 2000.

### 6.3.2.3. WINDEV 5.5 :

C'est un outil de développement pour les environnements Windows 3.1, 95, 98 et NT. Tout est inclus en standard. Pour le choix de ce logiciel, un certain nombre de questions sont à se poser au préalable.

- **A qui est destiné WINDEV?** A tous les développeurs qui désirent réaliser des applications sous Windows. Quel type d'applications? Les applications de gestion, industrielles, de terrain, d'EAO,...
- **Quelle est la formation requise?** Il suffit de savoir programmer. Aucune connaissance particulière de Windows n'est nécessaire.
- **Combien de temps est nécessaire à la formation à WINDEV?** Du fait de la grande intégration des modules, et du soin apporté à l'ergonomie et à l'intuitivité, une semaine suffit en général pour s'auto former et débiter une programmation efficace.
- **WINDEV inclut-il réellement tous les modules nécessaires au développement?** Oui, à la différence d'un langage «nu», tous les «add-on» sont inclus, en standard. De la conception à la maintenance. WINDEV peut être considéré comme une «suite» de développement.
- **WINDEV crée des exécutables «.EXE».** Ils sont librement diffusables, sans redevances à verser.
- **WINDEV permet de travailler en mode 16 bits et en mode 32 bits** WINDEV fonctionne aussi bien avec Windows 3.1 que NT que 95. Point important pour la facilité de développement et de maintenance, le code source est le même pour les 3 environnements.
- **WINDEV permet de récupérer un existant qu'on possède dans un autre langage** WD est interfacé avec la plupart des langages: C, C++, VB, Pascal, Cobol, Fortran,...

Un test de vitesse sur accès indexé est fourni sur le CD de démonstration WINDEV. Le fichier comporte environ un million d'enregistrements, ce qui est largement suffisant pour notre programme.

- **Le langage de WINDEV est un véritable langage de programmation** Le W-Langage (c'est son nom) est un L4G (langage de quatrième génération) moderne et complet. Le W-Langage permet la programmation procédurale et la programmation «orientée objet».

**WINDEV permet de développer des projets de grande envergure, à plusieurs développeurs.** C'est même dans ces projets qu'il excelle (groupware). L'application

comprend plusieurs centaines de fenêtres, et des fichiers de plusieurs millions d'enregistrements...Cela est courant avec WINDEV.

**Une assistance personnalisée** . Il existe des formules d'assistanat (dans les locaux **PC SOFT** , ou sur site « utilisateur »), ainsi qu'une formule d'assistance personnalisée et avancée par téléphone.

- **Qui utilise WINDEV?** Tous les types de structures professionnelles: SSII, services informatiques, ingénieurs de laboratoires, consultants, indépendants...

**On peut dire que WINDEV est «le» standard en matière de développement professionnel.**

#### 6.3.2.4. BASE DE DONNEES :

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** (Système de Gestion de Base de Données) est un ensemble de programmes permettant de :

- **Définir la Base de Données** : Spécifier les types de données, la structure, les contraintes...
- **Construire la Base de Données** : Stocker des données sur disque.
- **Manipuler la Base de Données** : Récupérer des données stockées (requêtes sur la BD).
- Mettre à jour les données
- **Maintenir la BD** : Gestion des données (concurrence, fiabilité,...) et des utilisateurs (droits)

Une base de données est faite pour suivre, mémoriser et retracer l'évolution d'une entreprise ou d'un organisme considéré (un ou plusieurs paramètres), afin de pouvoir restituer et traiter d'une façon globale ou ponctuelle les informations détenues.

- 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 donc 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) sont :

- La fonction « description »
- La fonction « utilisation et manipulation de la base »
- La fonction d'« intégrité »
- La fonction « confidentialité »
- La fonction « contrôle des accès concurrents »

Après la mise en évidence des différents paramètres intervenant dans le programme informatique, il est utile de souligner les différentes bases de données et leurs caractéristiques.

### **6.3.2.5. Différents types de bases de données**

Les applications sont 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.

Concevoir une base de données représente un processus très complexe où entrent en jeu de très nombreux paramètres. Cette conception n'est possible que si l'on décompose le processus en différentes étapes qui sont respectivement :

- La phase conceptuelle,
- La phase d'implémentation logique,
- La phase d'implémentation physique.

Le but de la phase conceptuelle consiste à obtenir un schéma conceptuel qui se définit comme représentant la description des classes d'éléments de l'univers de la base de données et des relations existantes entre ces classes, ainsi que la description des 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.

La conception d'une base de données consiste à définir les structures de la base de données pour représenter les activités et les objets réels. Les objectifs de la conception d'une base de données sont :

- 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.

La conception de la base de données se fait par étape :

- Modélisation conceptuelle.
- Construction du schéma logique.
- Conception physique de la base de données.

Le modèle conceptuel de données se situe à mi-chemin entre deux objets tangibles et distincts.

- Le système réel.
- La base de données qui représente le système.

### 6.4. 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 par le calcul de l'effort de résistance à la traction, et l'élaboration, de la base de données, nécessitent une architecture particulière. Celle-ci doit permettre d'enregistrer toutes les informations énumérées ci-dessous :

- Les caractéristiques du sol, ainsi que la topographie du terrain et sa géographie,
- Les caractéristiques des outils,
- Les conditions de travail,
- Les caractéristiques des tracteurs
- Les caractéristiques des machines agricoles.

Toutes ces informations doivent être enregistrées dans des tables qui représenteront au niveau du logiciel des fenêtres.

Pour notre programme, l'analyse souligne sept (07) entités, qui correspondent aux tables de la base de données, ces entités sont respectivement :

- La parcelle.
- Les champs de chaque parcelle.
- Les tracteurs.
- les outils de travail du sol.
- Les travaux à faire dans chaque champ.
- Les passages de chaque travail.
- Les modèles mathématiques.

Les tables doivent être en relation par des codes d'identification.

Un organigramme sera proposé afin d'expliquer l'architecture, les relations, l'assemblage, l'agencement, l'ordre dans lesquels les différentes composantes du programme seront exploiter. Une fois les tables identifier, il faut expliquer comment ils sont reliés entre eux, comment les exploiter. Et pour cela l'organigramme est indispensable.

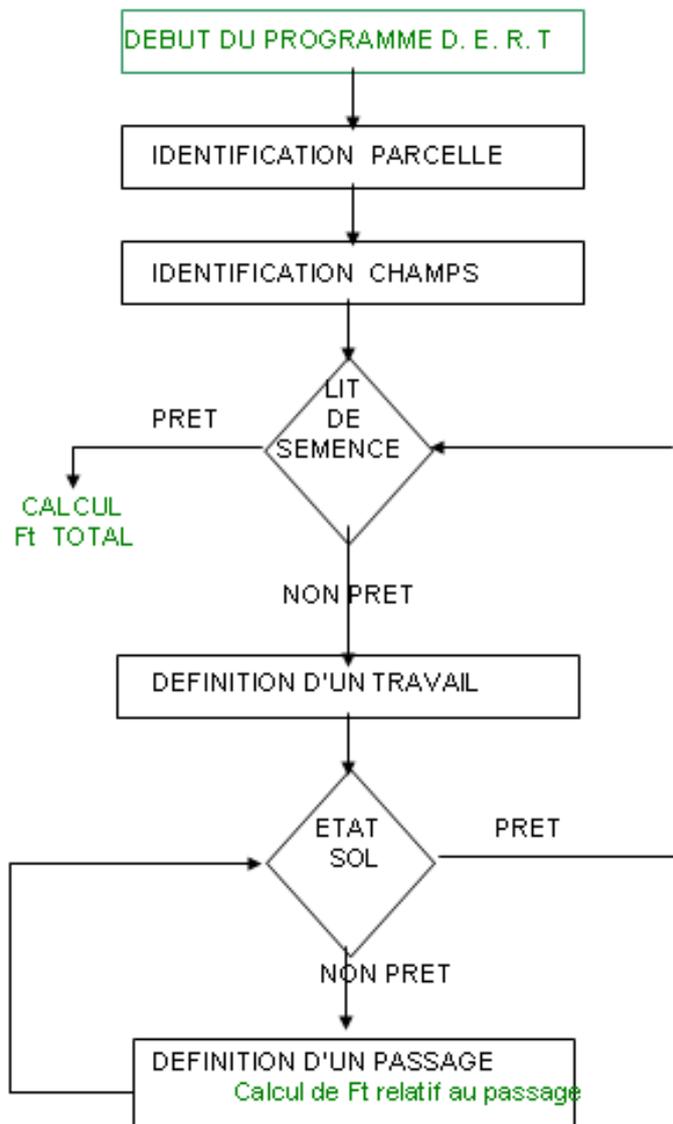
#### 6.4.1. Organigramme

Pour la modélisation conceptuelle, nous commencerons par l'organigramme qui permet de schématiser la structure du programme en donnant les grandes lignes et les fonctions

principales du programme de manière simplifiée, ordonné et clair de l'approche adoptée. Un organigramme est une représentation d'une programmation sous forme d'un schéma ; ou bien d'une autre façon, le mot ORGANIGRAMME, Désigne le diagramme d'une séquence d'actions d'une application. En informatique, on parle souvent d'ordinogramme.

#### 6.4.2. Organigramme du programme D. E. R. T., dans (B. BADOUNA 2001)

Celui-ci schématise la logique globale du déroulement du programme D. E. R. T.



*L'organigramme*

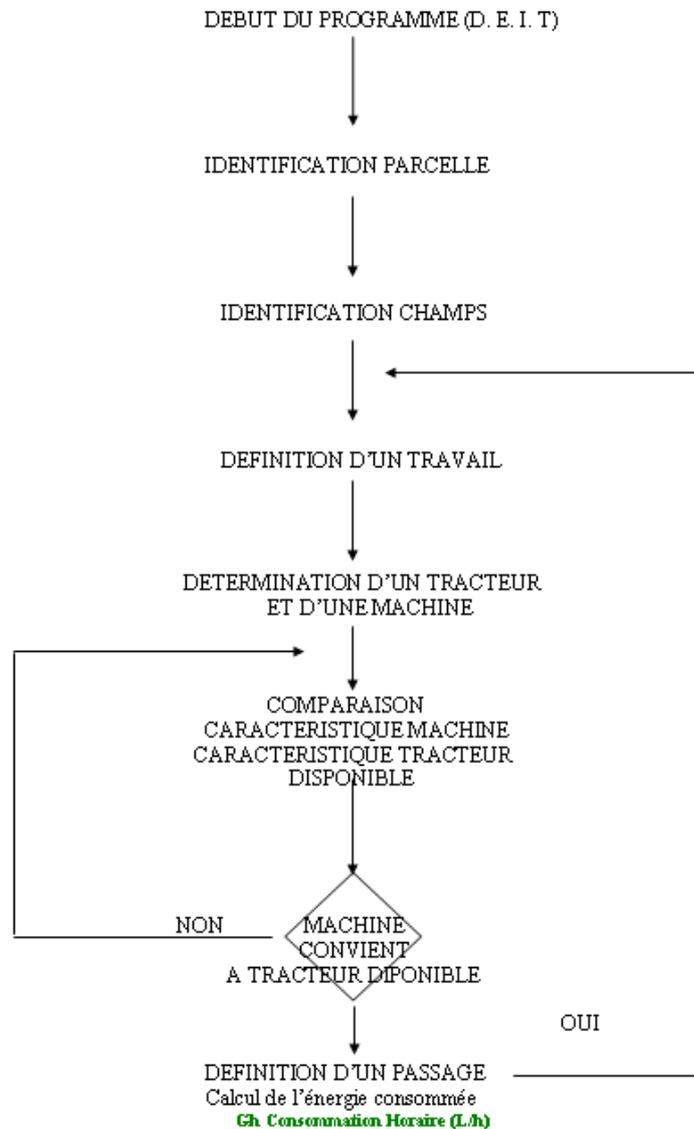
Nous remarquons que la structure de l'organigramme a changé dans le programme D.E.I.T pour la simple raison que le nouvel organigramme traite l'évaluation de l'énergie par une deuxième méthode qui est celle du réservoir plein en utilisant la consommation horaire du tracteur utilisé.

Comparé au premier organigramme fait pour le programme D.E.R.T. deux tests sont proposés le premier pour contrôler le lit de semences et le second pour contrôler l'état du sol,

Alors que pour le deuxième organigramme nous avons uniquement un test pour comparer le tracteur à la machine agricole dans le but de contrôler la compatibilité.

L'organigramme suivant présente une nouvelle approche pour effectuer les calculs de l'énergie consommée par le biais du fioul (gas-oil) en litre par heure nécessaire à une opération donnée.

### 6.4.3. Organigramme du programme D. E. I. T.

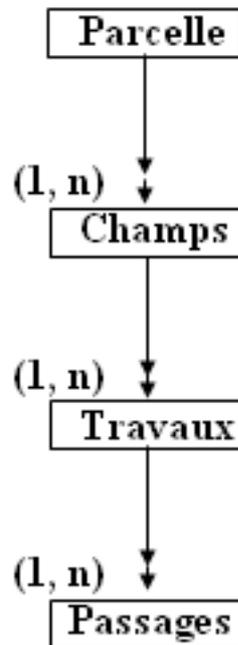


*(Détermination de l'Energie dans l'Itinéraire Technique)*

### 6.4.4. Relation entre entités

#### D. E. R. T.

Pour D. E. R. T. dans (BADOUNA B. 2001) les relations entre les entités Parcelles,



**Parcelle = {champs}**  
**Champs = {travaux}**  
**Travail = {passages}**

*Champs, Travaux et Passages sont illustrés dans le schéma suivant :*

**Pour D. E. I. T., dans ce cas les relations entre les entités sont :**

Les relations entrées des entités, qui représentent les tables de la base de données, sont les 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.

Ces relations définies nous facilitent 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 ou plusieurs relations, en d'autres termes, une Parcelle peut contenir un ou plusieurs Champs.

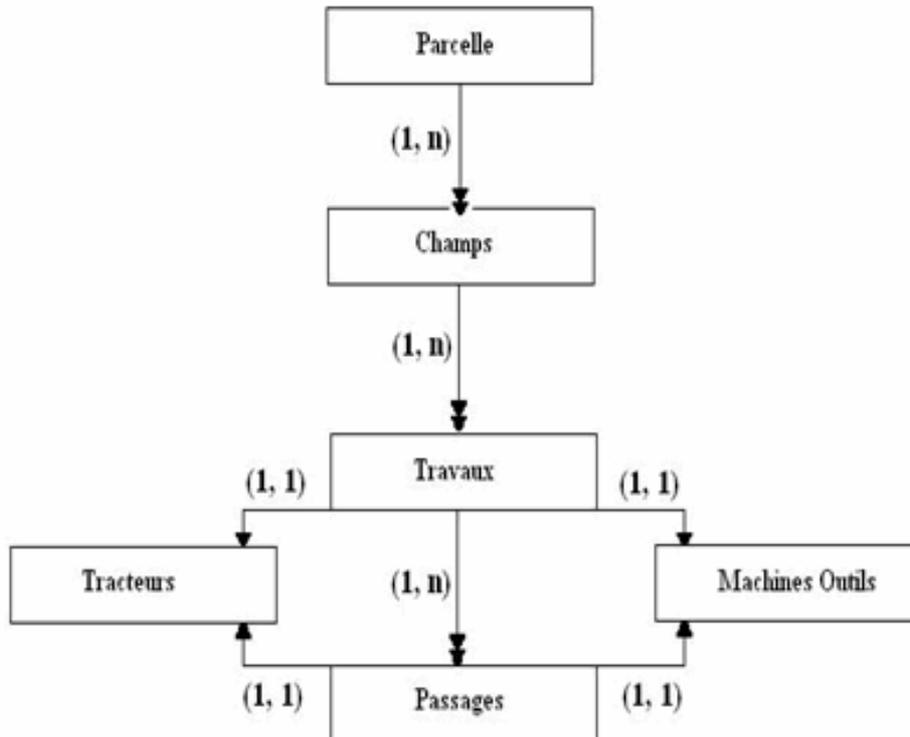
Aussi dans un Champs nous effectuons un ou plusieurs Travaux, ce qui signifie que la relation entre Champs et Travaux est de la nature un à plusieurs.

La même chose pour la relation entre Travaux et Passages qui est un à plusieurs.

Alors que pour les relations entre Travaux et Tracteur, Travaux et Machines Agricoles, Passages et Tracteur, Passages et Machines Agricoles, sont du type un à un ce qui signifie

que, pour un travail, il n'existe qu'un seul tracteur et une seule machine agricole. Même chose pour le 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

*Pour illustrer ces différentes relations, nous présentons le schéma suivant :*

Où n représente le nombre de relations entre les entités,

(1,1) il y a une relation unique et (1, n) il y a plusieurs relations entre les entités.

#### 6.4.5. Les propriétés « attributs » de chaque entité

Les différentes propriétés du programme sont présentées ci-dessous : il s'agit d'informations importantes qui composeront la base de données qui sera établie à partir de l'utilisation du logiciel qui sera proposé.

**Parcelle**

**Le code parcelle**  
**Le nom et prénom du propriétaire**  
**Le code communal**  
**L'altitude**  
**La longitude**  
**La latitude**  
**La superficie**  
**Le degré de la pente**  
**Irriguée ou non**  
**Nombre de champs**  
**La vocation**

**Champs**

**Code parcelle**  
**Code champs**  
**Orientation**  
**Culture précédente**  
**Culture à installer**  
**Date de début des opérations**  
**Nature des opérations**  
**Les travaux**

Les informations recueillies au niveau de ces deux propriétés (parcelles et champs) permettraient de créer la première base de données relative à la caractérisation monographique et topologique des différentes régions agricoles au niveau des différentes wilayas puis au niveau national. C'est la première étape pour la réalisation de la carte des besoins en énergie, en même temps nous aurons la carte des plans de culture.

Code Parcelle  
Code champs  
Code travail  
Nom du travail  
Caractéristique du travail  
Nombre de passages  
Commentaire

Passages

Code parcelle  
Code Champs  
Code travail  
Code passage  
Le modèle SUIVANT le CHOIX :  
GORJATSCHKIN  
GEE CLOUGH  
BINESSE  
AMARA  
BOUBRIT  
Humidité H%  
Vitesse de travail V  
Largeur de travail b  
Profondeur de travail a  
Gravité g  
Nombre de corps de charrue n  
Poids de l'outil G  
Coefficient K  
Coefficient de forme du versoir  
Coefficient de résistance au roulement f  
Section du sol travaillé S  
Cohésion du sol C  
Angle de frottement interne du sol  
Sc  
Sp  
Angle d'entraxe Alpha  $\alpha$   
Angle d'incurvation Bêta  $\beta$   
Angle de pointe Thêta  $\theta$   
N  
Coefficient de correction Cr  
Masse Volumique du sol p  
Densité d

Ces deux autres propriétés, les travaux et les passages permettraient par contre de prévoir les types de tracteurs avec leurs puissances et les types de machines agricoles plus particulièrement les outils aratoires qui équiperont les différentes régions agricoles. C'est la base de données relative aux besoins énergétiques.

Dans la deuxième version de D.E.R.T c'est-à-dire D.E.I.T., nous avons ajouté les attributs suivants pour les besoins de la méthode de calcul :

Tracteur par sa consommation horaire correspondant à une machine agricole, réglage et entretien moteur, vitesse inadaptée, excès glissements et enfin réglage et entretien outils.

Le schéma logique (algorithme) 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 lequel elles sont exécuter. C'est la logique de la machine exprimée en langage humain.

## **6.5. Construction du schéma logique ou Algorithme**

---

Un algorithme, c'est une suite d'instructions, qui, une fois exécutées correctement, conduit à un résultat donné. Pour fonctionner, un algorithme doit donc contenir uniquement des instructions compréhensibles par celui qui devra l'exécuter.

Pour notre travail, l'algorithme comprendra deux parties, la première est celle, relative à la caractérisation des parcelles et des champs, la deuxième est celle, relative à la détermination des efforts de résistance à la traction et à la consommation en énergie pour les différentes opérations culturales, dans notre cas, il s'agira des opérations de travail du sol. Cette deuxième partie utilise les modèles mathématiques choisis. Nous rappellerons que cette deuxième partie est elle-même composée de deux parties, celle utilisant l'effort de résistance à la traction (DERT) et celle utilisant la consommation horaire qui est plus accessible pour les non spécialistes.

### **6.5.1. Algorithme relatif à la caractérisation des parcelles et champs**

La première partie de l'algorithme concerne la parcelle et le champ, c'est la première partie du programme informatique.

**Début Programme**

Lire information Parcelle (# code parcelle)  
 Lire information Champs (# code parcelle // # code champs)  
 Lit de semence = faux  
 Etat\_sol = faux  
 Paramètres lit de semence = faux  
 Paramètre sol = faux

**Tant que** lit\_de\_semence = faux

**Ajouter** Nouveau travail

- # code parcelle
- # code champs
- # code travail
- nom du travail
- caractéristique du travail
- nombre de passage
- commentaire

**Tant que** Etat\_sol = faux // définir les éléments qui caractérisent un Passage.

- # code parcelle // # code champs // # code travail // # code passage
- Date du passage
- Type machine (outil)
- Caractéristiques\_sol
- Caractéristiques\_outils
- Condition\_de\_travail
- Calcul de Ft
- Calcul paramètres sol

**Si** param1 = vrai et param2 = vrai et ... param n = vrai

**Alors** Etat\_sol = vrai

**Fin**

**Fin**

    Calcul paramètre lit de semence

**Si** param lit semence1 = vrai et ... **Alors**

        Lit\_de\_semence = vrai

**Fin**

    Calcul Ft total

$F_{tt} = F_{t1} + F_{t2} + \dots + F_{tn}$

**Fin programme**

### 6.5.2. Algorithme relatif à l'utilisation des modèles mathématiques pour déterminer les besoins énergétiques

Il s'agit de la deuxième partie de l'algorithme qui concerne la détermination des besoins énergétiques, c'est la deuxième partie du programme informatique. Algorithme pour D. E. R. T. (détermination de l'énergie par l'intermédiaire des efforts de résistance à la traction).

**CONSTANTES**

Modele1=GORJATSCHEKIN=> Ft = [f x G] + [K x b x a x n] + [ε x b x a x V]  
 Modele2=GEE CLOUGH=> Ft = a x b x [(13.30 x θ x a) + (3.06 x θ x (V<sup>3</sup>/g))]  
 Modele3=BINESS => Ft = S x [(C/ cos Φ) x (0.85 + sinΦ)]  
 Modele4=AMARA => Ft = N x Cr x e<sup>2.35</sup> x (V<sup>3</sup>/g x b)<sup>0.18</sup> x (Sc/Sp)<sup>0.76</sup> x (α)<sup>4.11</sup> x (β)<sup>0.84</sup> x (θ)<sup>0.62</sup> x d x b<sup>1.6</sup> g  
 Modele5=BOUBRIT =>  $\frac{P}{\sigma} = e^{-0.0005 \times \left(\frac{C}{\sigma}\right)^{1.0000} \times \left(\frac{V}{\sigma}\right)^{1.0000} \times (b \times a)^{0.0000}}$   
 $\frac{P}{\sigma} = e^{-0.0005 \times \left(\frac{C}{\sigma}\right)^{1.0000} \times \left(\frac{V}{\sigma}\right)^{1.0000} \times (a)}$

**Début**

Choix modele1=faux  
 Choix modele2=faux  
 Choix modele3=faux  
 Choix modele4=faux  
 Choix modele5=faux

Selon le type de machine

CAS 'A' // outils à surface Gauche

// On peut utiliser deux modèles.  
 Si f, G, K, a, b, n, v, ε ≠ nulle. Alors  
 Choix modele1=vrai.

Fin

Si a, b, v, δ ≠ nulle. Alors  
 Choix modele2=vrai

Fin

Si Choix modele1=vrai et  
 Choix modele2=vrai. Alors // il est possible d'utiliser les deux modèles.  
 Choix modèle=x //(une logique pour prendre le plus faible ou le plus important)

Fin

CAS 'D' // outils à dents

// On peut utiliser 3 modèles.  
 Si S, C, Φ ≠ nulle. Alors  
 Choix modele3=vrai

Fin

Si N, Cr, V, b, d, α, β, θ, Sc, Sp ≠ nulle. Alors  
 Choix modele4=vrai

Fin

Si Paramètres ≠ nulle. Alors  
 Choix modele5=vrai

Fin

Si Choix modele3=vrai et  
 Choix modele4=vrai et  
 Choix modele5=vrai. Alors // il est possible d'utiliser les trois modèles.  
 Choix modèle=y //(une logique pour prendre le plus faible ou le plus important)

Fin

FIN ;

L'algorithme du programme D. E. I. T. peut prendre la forme suivante, dans le but d'automatiser le choix du tracteur et des machines agricoles ainsi que le calcul de la consommation du carburant.

**6.5.3.ALGORITHME du programme D.E.I.T. (détermination de l'énergie par l'intermédiaire de la consommation horaire).**

**CONSTANTES**

Méthode1=Consommation Horaire=>Gh = gs × Pt

Méthode2=Effort de Résistance à la traction=>Ft=Modèles Mathématique

**Début** du programme

Selon la Méthode de calcul utiliser

CAS 'A' // la consommation horaire du carburant (Méthode du réservoir plein)

**Lire** informations

    Lire informations Parcelle (# code parcelle)

    Lire informations Champs (# code parcelle // # code champs)

Définition Tracteur

Définition Machines disponible

Définition Machines de travail

Machine = faux

**Ajouter** Nouveau Travail

    #CODETRAVAIL

    #CODEPARCELLE

    #CODECHAMPS

    #CODETRACTEUR

    #CODEMACHINE

    NOMTRAVAIL

    CARACTERISTIQUETRAVAIL

    COMMENTAIRE

**Tant que** Machine = faux

    Machine ne convient pas au tracteur PUISSANCENECESSAI>PUISSANCE

**ET**

Machine ne convient pas au travail (#CODEMACHINE) ≠ (#CODETRAVAIL)

**Lire** Machine suivante #CODEMACHINE

    POIDSMACHINE

    PUISSANCENECESSAI

    REGIMEPRISEDEFORCE

    HAUTEUR

    PROFONDEUR

    LARGEUR

    VITESSE

**SI** Machine Tracteur = vrais PUISSANCENECESSAI ≤ PUISSANCETRACTEUR

**Et** Machine Travail = vrais (#CODEMACHINE) = (#CODETRAVAIL)

**Alors** Machine convient

**Fin**

**Ecrire** code machine qui convient

    Calcule Energie (litre de carburant, calorie, watt, tep,...)

CAS 'B' // utilisation des Modèles Mathématiques pour calculer l'Effort de résistance à la traction

    Calcul Ft total Ftt = Ft1 + Ft2 + .... + Ftn // voir Algorithme Modèle

**Fin.**

En somme, le programme D.E.I.T. est le programme D.E.R.T avec un module supplémentaire utilisant la consommation horaire en combustible.

## 6.6. Conception physique de la base de données :

Le programme D. E. I. T. Permet l'utilisation d'une base de données locale constituée de sept tables pour enregistrer toutes les informations nécessaires à l'analyse des chercheurs et des statisticiens aussi, nous offrons aux agriculteurs avertis, aux ingénieurs et étudiants, la possibilité de calculer la consommation en énergie dans un itinéraire technique en choisissant directement le matériel à atteler avec un tracteur.

Cette base de données peut être partagée entre plusieurs utilisateurs dans un réseau local ou un réseau distant. Une interface graphique est nécessaire pour utiliser la base de données.

### 6.6.1. 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 *formulaire*s destinés à être affichés à l'écran et les *états* destinés à être imprimés.

### 6.6.1.1. Les formulaires :

Un accès aux tables donne la possibilité de voir plusieurs enregistrements simultanément et de les modifier directement. Si la table contient de nombreuses colonnes, il faut faire défiler les colonnes pour visualiser un enregistrement en entier comme c'est le cas pour la table passage. De plus, il n'est pas possible de mettre à jour plusieurs tables simultanément. En fin la présentation tabulaire n'est pas ergonomique et est source de nombreuses erreurs de saisie.

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, afficher, saisir ou modifier.

Il y a deux types de formulaires :

- Les formulaires de présentation de données. Leurs objectifs sont de présenter, saisir ou modifier les données d'une ou de plusieurs tables.
- 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.

On dispose en général des objets de type :

- Label, permettant d'afficher du texte.
- Zone de texte, permettant de saisir ou afficher la valeur d'un champ de la table.
- Boutons d'options (Radio button).
- Cases à cocher (CheckBox).
- Zones de listes, pour afficher des listes de valeurs.
- Boutons pour tester le click de souris par exemple.
- Bascules, pour un champ de type booléen.
- Images.
- Onglets.
- Attributs graphiques de type rectangles, segments, ovales etc....pour agrémenter le formulaire.

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, le sous formulaire est 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 ; par exemple que tel formulaire ne doit servir que pour effectuer des saisies et tel autre ne pourra être utilisé que pour faire de l'affichage de données sans mise à jour possible.

#### **6.6.1.2. 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 cumulés, 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.

Pour la conception physique de la base de données, nous présentons l'exemple suivant concernant des essais, sur la consommation d'énergie lors des travaux du sol, réalisés au niveau de la ferme expérimentale de l'Institut National Agronomique d'El-Harrach.

## **Chapitre 7. L'exemple**

### **7.1. Caractéristiques de l'exemple choisi**

---

Au niveau de cet exemple, nous donnons les principaux paramètres à souligner pour l'utilisation du logiciel proposé. Ces différentes informations, triées et classées dans un ordre précis, constitueront les éléments de la base de données.

#### **a – Milieu ou site d'essais des travaux réalisés par Meziani B. 1993.**

- Parcelle : culture précédente, blé tendre.
- Situation : Ferme I. N. A terrain plat pente 0°
- Période : Mois de Mai
- Texture du sol : 43,6% Argile  
23,79% Limon fin + Limon grossier  
32,58% Sable fin + sable grossier  
D'après le triangle U. S. D. A la texture est Argileuse
- Humidité : 12,93% faible (bonnes conditions 18% à 22%)
- Densité apparente moyenne 1,68 g/cm<sup>3</sup>
- Densité réelle moyenne 2,16 g/cm<sup>3</sup>

#### **b - Matériels utilisés :**

Le matériel utilisé durant l'expérimentation est :

---

### **b-1- Le Tracteur et ses caractéristiques techniques**

- Tracteur, Série Méditerranée, Type TD 68.
- Moteur/Diesel à quatre temps avec injection directe et refroidissement à air T4 L912
- Puissance (KW) = 50 kw
- Diamètre du cylindre (mm)/course du piston en (mm) =100/120
- Nombre de cylindres / volume d'exercice total en cm<sup>3</sup> = 4/3768
- Couple maximum (N.m / (tours/mn) = **230/1600**
- Consommation spécifique du combustible en g / (KW. h) =**215-225**
- Nombre de vitesses avant / arrière : 12/4
- Prise de force 540/1000tr/mn

### **b-2- Matériels utilisés pour le travail du sol**

Les outils aratoires utilisés lors de l'expérimentation pour les différentes opérations de travail du sol sont :

#### **b-2-1- Matériel de labour :**

**Deux charrues** simples **portées** de type **sonacome**, l'une à **02 socs** et l'autre à **03 socs**. Les caractéristiques des **02 corps de charrue** sont respectivement :

- Largeur de travail (mm) 300
- Hauteur max (mm) 400
- Hauteur min (mm) 305
- Longueur totale (mm) 945
- Angle d'attaque degré (°) 40
- Angle d'inclinaison téta (°) 33
- Angle de montée de la terre (°) 39.5
- Angle d'entrure (°) 21
- Poids (kg) 50
- Forme du soc. Trapézoïdale régulière

#### **b-2-2- Matériel de pseudo labour**

Pour les pseudos labours c'est le cultivateur à dents rigides, communément appelé le Canadien, qui a été utilisé, il a les caractéristiques suivantes :

- Nombre de dents **11**
- Espace entre deux dents du même rang **0,50 mètre**
- Espace entre deux dents de rangs différents **0,25 mètre**
- Largeur de travail **2,5 m mètres**

#### **b-2-3- Matériels des façons superficielles.**

Les outils utilisés, pour les façons superficielles, sont respectivement :

- Cover-crop (8/16) largeur de travail 1,52 mètres
- **Herse en z** à trois compartiments, largeur de travail **3,35 mètres**
- **Rouleau lisse**, largeur de travail **2 mètres**

### **c - conditions de travail, vitesse d'avancement des agrégats agricoles :**

D'après Meziani, B. 1993, les machines agricoles utilisées, leurs vitesses de travail et leurs consommations horaires, utilisé pour notre premier exemple sont respectivement :

- Charrue à 03 socs, vitesse 2.73km/h, la consommation est de 73.30 l/ha

- Charrue à 02 socs, vitesse 2.91km/h, la consommation est de 66.73 l/ha
- Cultivateur à dents, vitesse 4.56km/h, la consommation est de 17.54 l/ha
- Cover-crop, vitesse 5.71km/h, la consommation est de 20.71 l/ha
- Herse en z, vitesse 5.75km/h, la consommation est de 9.06 l/ha
- Rouleau lisse, vitesse 6.21km/h, la consommation est de 11.87 l/ha

Le régime moteur utilisé est proche du régime nominal.

#### **d- utilisation de ces informations dans le logiciel**

L'utilisation des éléments ou paramètres de cet exemple pratique, qui représente une première enquête sur terrain, au niveau du logiciel établi, donnerait de façon pratique les principales étapes, de l'utilisation du logiciel qui, sont respectivement :

##### 1. Définition ou identification de la **parcelle**

La parcelle de l'INA el harrach -Alger- dont le code communal est 16200, qui se situe dans la plaine de la MITIDJA aux coordonnées suivantes **Latitude** et **longitude** et a une altitude de **0 m**, la superficie est de **Y m<sup>2</sup>**. Cette parcelle est subdivisée en plusieurs champs.

##### 2. Identification et définition des **champs de la parcelle**

Chaque champ est défini par rapport à plusieurs paramètres qui sont liée à la culture et au sol. Il faut connaître aussi la culture précédente et celle à installer ainsi que la date de début des opérations et la nature de celles-ci afin de déterminer l'outil à utiliser et pouvoir plus tard effectuer des études statistiques sur chaque champ ou sur plusieurs en même temps.

Un champ pris au hasard présente les caractéristiques suivantes du sol

- Cohésion = 1,79 N / cm<sup>2</sup>
- Cône index = 7 0 N / cm<sup>2</sup>
- Densité apparente initial = 1,2 g/cm<sup>3</sup>
- Coefficient de résistance à la déformation de la bande de terre K = 30 000 N/m<sup>2</sup>

Définition des **travaux** à faire pour préparer chaque champ

Pour le champ choisi, Les travaux à effectuer sont nombreux et différents suivant les caractéristiques du sol, dans le cas présent ; suivre le schéma classique serait le plus approprié (un labour, une reprise de labour, un hersage et en fin le semis). Pour cela une charrue à socs est nécessaire, un cultivateur à dent, une herse et un semoir, pour le premier outil trois modèles nous permettrons d'évaluer l'effort (GORJATSCHKIN, GEE CLOUGH et BINESSE) et pour le deuxième, aussi, il faut trois modèles (AMARA, BOUBRIT et BINESSE). Pour ce qui est de la herse et du semoir, à notre connaissance, il n'y a pas de modèles qui permettraient de calculer l'effort de résistance à la traction.

Ensuite, ce qui reste à faire est de déterminer le nombre de passages pour chaque outil.

***Le choix de l'outil nous permet de déterminer les caractéristiques constructives de celui ci***

Définition les paramètres caractérisant chaque **passage** dans un **travail** donné pour le calcul de la force de résistance à la traction.

Conditions de travail de la charrue

- Le nombre de corps de charrue n = 2

**Evaluation des besoins énergétiques pour la mise en place des cultures.**

- Profondeur de travail = 25 cm
- Largeur de travail = 35 cm
- Sc/Sp = 1,18
- Vitesse de travail = 4 Km/h
- La gravité (accélération terrestre)  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- Nombre de passage = 1
- La caractéristique géométrique de l'outil

Coefficient de forme du versoir Epsilon =  $30\,000 \text{ N/m}^3$

Conditions de travail du cultivateur à dents

- Le nombre de dent  $N = 11$
- Profondeur de travail = 15 cm
- Largeur du soc = 4 cm
- Vitesse de travail = 7 Km/h
- La gravité (accélération terrestre)  $g = 10 \text{ m/s}^2$
- Nombre de passage = 1

Les caractéristiques de l'outil (soc de la dent flexible)

- Angle d'entrure Alpha =  $45^\circ$
- Angle d'incurvation Bêta =  $115^\circ$
- Angle de pointe Téta =  $60^\circ$

1. Enfin les valeurs de l'effort de résistance à la traction, obtenues pour chaque outil et avec les différents modèles sont illustrées dans les tableaux suivants :

	<b>GORJATSCHKIN</b>	<b>GEE CLOUGH</b>	<b>BINESSE</b>	<b>AMARA</b>	<b>BOUBRIT</b>
La charrue (daN)	849,07	777,58	392,93	----	----
Le cultivateur (daN)	----	----	148,19	127,97	112,28

*Tableau n° 9 : Valeurs de l'effort de résistance à la traction pour les deux types d'outils et obtenues avec les différents modèles.*

Ces calculs permettent de déterminer la puissance de traction à l'aide la relation suivante :

$$P = F_t \times v$$

	<b>BINESSE</b>	<b>GORJATSCHKIN</b>	<b>GEE CLOUGH</b>
Puissance en watt	4365,91w	9434,15w	8639,81w
Puissance en cv	58,21cv	125,78cv	115,20cv

*Tableau n° 10 : Résultats des calculs des puissances (charrue à socs)*

	AMARA	BOUBRIT	BINESSE
Puissance en watt	2488,31w	2194,83w	1646,57w
Puissance en cv	33,18cv	29,26cv	22cv

Tableau n° 11 : Résultats des calculs des puissances (Cultivateur à dents)

Les valeurs reprises dans ces tableaux sont les résultats des travaux réalisés au niveau du laboratoire de machinisme agricole du génie rural.

La multiplication du nombre d'exemple tel que celui-ci au niveau des différentes exploitations agricoles permettrait l'établissement et l'enrichissement de la base de données en vue de l'établissement d'une carte de consommation d'énergie en Algérie.

## Chapitre 8. Utilisation du programme D.E.I.T.

La méthode intuitive de construction de l'application D.E.I.T. nous permet de calculer l'énergie utilisée lors d'un itinéraire technique pour la mise en place d'une grande culture et de générer à partir des résultats obtenus, une base de données.

Après avoir défini l'opération de l'itinéraire technique et rassemblé les informations nécessaires au calcul énergétique, informations données dans le paragraphe précédent, nous pouvons commencer les opérations de saisie de ces informations, mais avant cela, il est utile de présenter les différentes composantes du programme D.E.I.T.

D.E.I.T. se compose de 06 fiches, la première étant celle de l'identification elle comporte deux champs de saisie (nom utilisateur et mot de passe). Nom utilisateur et mot de passe correctement saisi permettront l'accès à la fiche menu du programme D.E.I.T.

Chacune de ces fiches est composée de champs de saisie et de boutons d'exécution, de commande ou de validation de l'information. Ces fiches sont données respectivement dans l'ordre de leur apparition au niveau du logiciel, les différentes fenêtres que nous obtiendrons sont illustrées sur les figures suivantes :

Première fiche : Fiche menue (Fiche principale)

Cette fiche renvoie vers tous les autres, celles des saisies ainsi que celle des calculs. Cette fiche assure la distribution ainsi que l'accès aux autres fiches du programme informatique D.E.I.T.



Figure 5 : Fiche menu : Calcul de l'énergie.

Dans cette fiche, nous pouvons remarquer la présence des menus qui affichent une liste de commandes se trouvant sur la barre des menus, qui est la barre d'outils en haut de la fenêtre du programme D.E.I.T. Les barres d'outils peuvent contenir des boutons, des menus ou une combinaison des deux. Des images sont placées en regard de certaines de ces commandes de façon à pouvoir associer rapidement la commande avec l'image.

Nous utilisons une barre de menus avec un menu **Outils** qui contient des boutons et un menu déroulant comportant les options (et) que nous utilisons pour exécuter aussi des commandes.

Les commandes des deux composantes du menu sont :

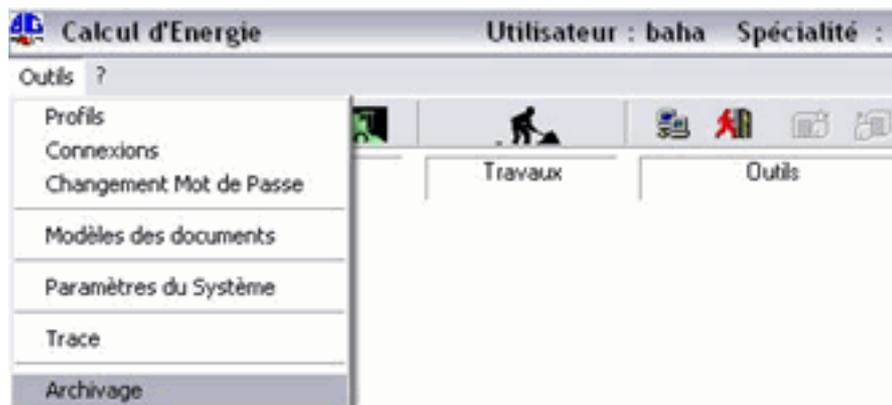


Figure 6 : représentation du menu outils.

**Les commandes du menu Outil sont respectivement:**

**La commande profils**

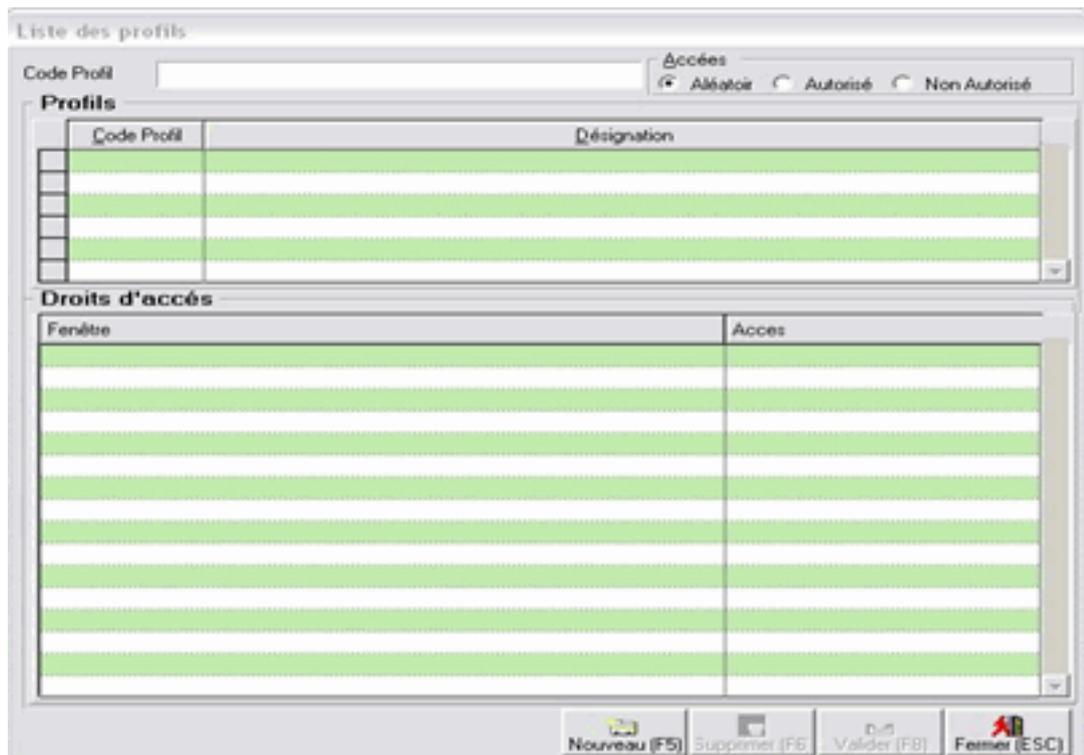


Figure 7 : Fiche de la liste des profils.

Cette fenêtre affiche les informations relatives aux utilisateurs du programme :

Code utilisateur où code profil ainsi que la fonction de l'utilisateur sans oublier les droits d'accès de chacun de ces utilisateurs. La création de nouveaux profils se fait de cette même fenêtre.

### La commande Connexion

Cette fiche (fenêtre) permet de faire la gestion des droits d'accès des utilisateurs lorsque le programme est utilisé dans un réseau local ou distant.

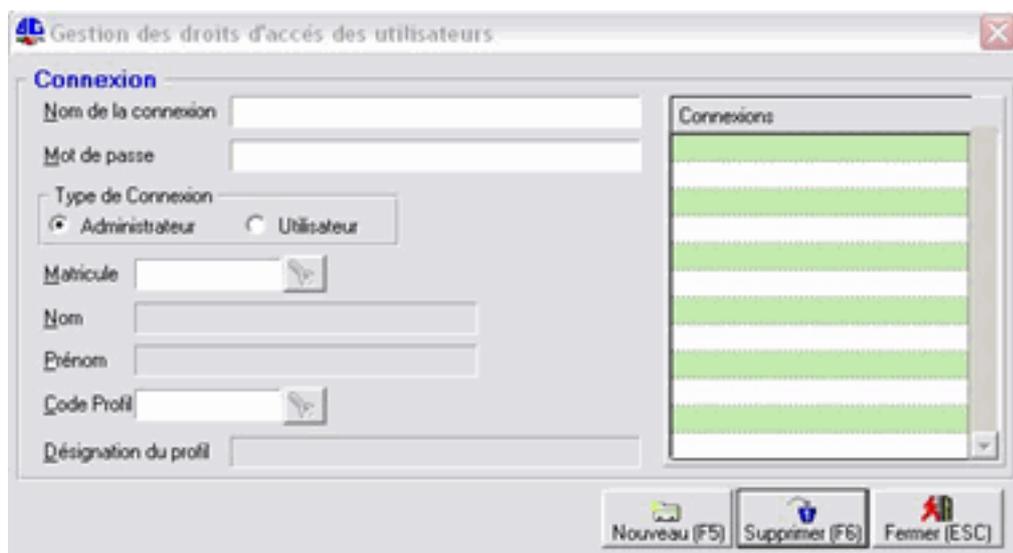


Figure 8 : Fiche gestion des droits d'accès des utilisateurs

### La commande Changement du Mot de Passe

Comme son nom l'indique cette fenêtre (fiche) permet à chaque utilisateur de changer le mot de passe.



Figure 9 : Fiche changement mot de passe

### La commande Modèle des documents :

Cette commande permet d'ouvrir une fenêtre dans laquelle le ou les utilisateurs configurent des modèles de documents dans le but d'avoir des états personnalisés. Suivant les besoins des utilisateurs.

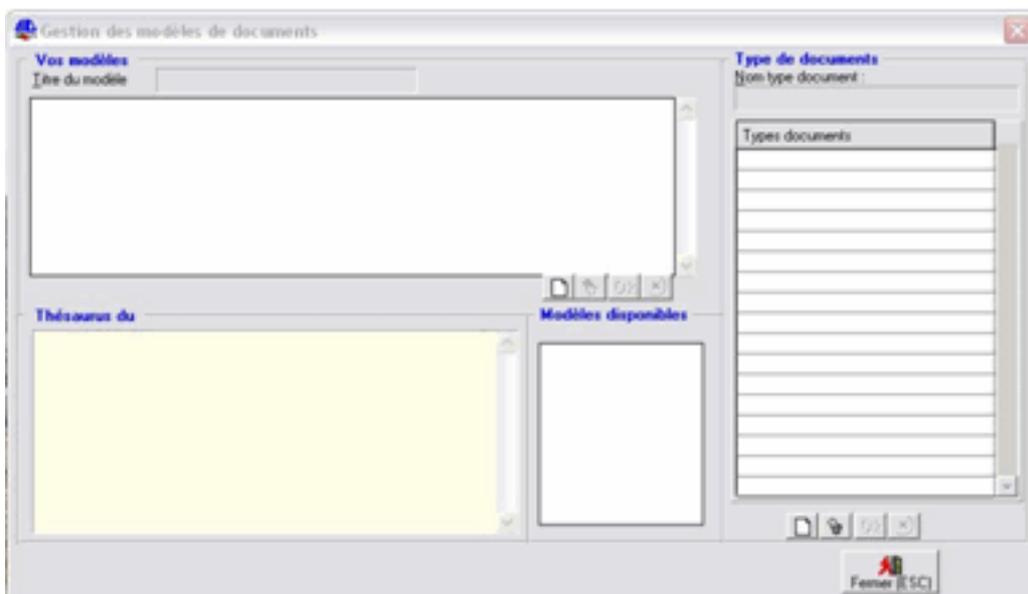


Figure 10 : Fiche gestion des modèles de documents

### La commande Paramètres du Système

La commande Trace



Figure 11 : Fiche message de non disponibilité de l'option

La commande Archivage



Figure 12 : Fiche message de non disponibilité de l'option

**Les commandes du menu principal :**

La barre d'outils ou barre de menus contient des boutons constituant trois groupes distinct :



Figure 13 : Les boutons de la barre d'outils.

**Le 1<sup>er</sup> groupe** composé de quatre boutons, le groupe est nommé *Fichier*



Le bouton parcelle pour identifier les composantes de la fiche 

Le bouton champs nous renvoie vers la fiche Champs 

Le bouton Tracteur nous renvoie vers la fiche Tracteur 

Le bouton Machines Agricole nous renvoie vers la fiche Machines Agricole 

Figure 14 : Premier groupe de boutons de la barre d'outils.

**Le 2<sup>ème</sup> groupe** composé d'un bouton, le groupe est nommé



Le bouton Travaux nous renvoie vers la fiche Travaux 

Figure 15 : Deuxième groupe de boutons de la barre d'outils.

**Le 3<sup>ème</sup> groupe** composé de quatre boutons dont deux sont inactives, le groupe est nommé *outils*



Le bouton pour changer d'utilisateur



Le bouton pour quitter le programme



Figure 16 : Troisième groupe de boutons de la barre d'outils.

Deuxième fiche : La fiche parcelle

La fiche est conçue pour faire l'acquisition des données ou informations relatives à la parcelle.

A screenshot of a software window titled "Fiche des Parcelles". The window has a light green background. At the top, it says "Identification de la parcelle". Below this, there are several input fields: "Code Parcelle" (INA001), "Nom Propriétaire" (Institut National Agronomique), "Prénom Propriétaire" (EL Harrach -Alger-), "Code Communal" (16000), "Irrigation" (Oui), "Nombre de Champs" (10), and "Vocation" (toutes). To the right of these fields are five more input fields: "Altitude" (0.00), "Longitude" (0.00), "Latitude" (0.00), "Superficie" (0.00), and "Degré de la pente" (0.00). At the bottom of the window, there are several buttons: "Premier", "Précédent", "Suivant", "Dernier", "Nouveau", "Supprimer", "Lister", "Recherch", and "Fermer".

Figure 17 : Fiche des Parcelles

### Les champs de saisies

Cette fiche contient 12 champs de saisie qui sont énumérés ci-dessous :

- Code parcelle
- Nom propriétaire
- Prénom propriétaire
- Code communal
- Irrigation
- Nombre de champs
- Altitude
- Longitude
- Latitude
- Superficie
- Degré de la pente
- Vocation

### Les boutons

Au niveau de cette fiche, nous retrouverons également neuf (09) boutons qui sont respectivement :

- 4 boutons pour la navigation, pour parcourir directement la table 'parcelle'.



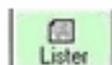
- 1 bouton Nouveau, pour un nouvel enregistrement.



- 1 bouton Supprimer, permettant la suppression d'un enregistrement existant.



- 1 bouton lister, nous renvoie vers une nouvelle fiche dans laquelle il est affiché un tableau contenant les enregistrements de la table parcelle.



- 1 bouton recherché, permettant de rechercher un enregistrement dans la table et de l'afficher dans la fiche parcelle.



- 1 bouton fermer, ce bouton sert pour quitter la fiche parcelle et revenir a la fiche menu.



Figure 18 : Fiche des Parcelle dans l'environnement programme

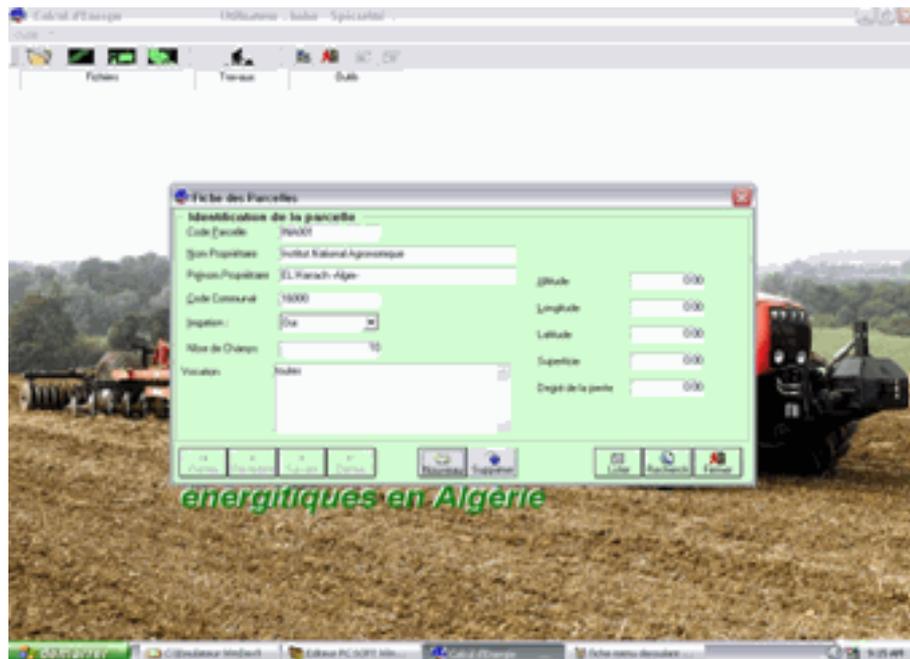


Figure 18 : Fiche des Parcelle dans l'environnement programme

### Troisième Fiche : La Fiche champs

Toujours dans le même esprit de collecte des informations, celle-ci nous renseigne sur certaine caractéristique du champ à travailler ou à préparer pour l'installation d'une culture donnée qui est dans notre cas le blé.

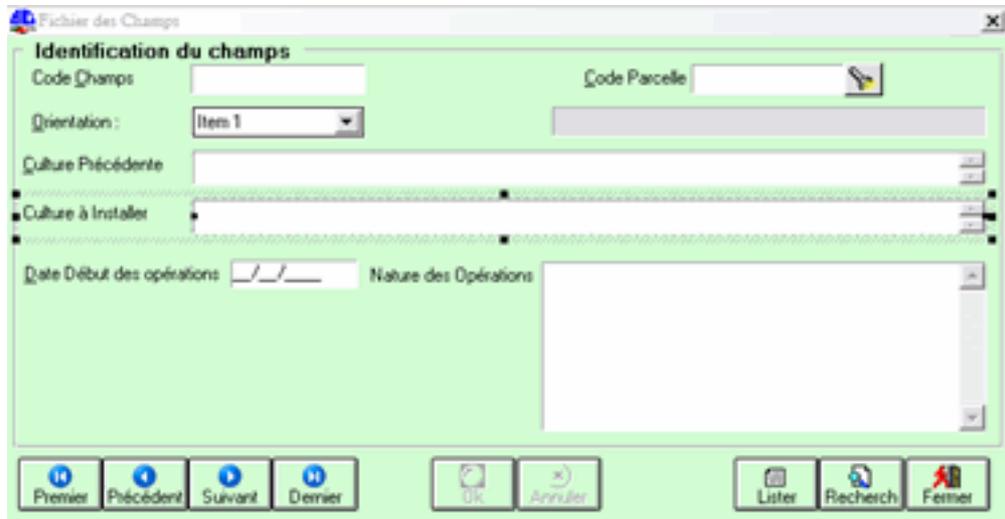


Figure 19 : Fiche Champs

**Les champs de saisies, ces champs sont successivement :**

- Orientation
- Culture précédente
- Culture à installer
- Date début des opérations
- Nature des opérations

Le code champs est généré automatiquement et le code parcelle est choisi avec le bouton recherche

### Les boutons

Au niveau de cette troisième fiche, il existe 9 boutons qui sont respectivement :

- 4 boutons pour la navigation, pour parcourir directement la table Champs.



- 1 bouton Nouveau, pour un nouvel enregistrement dans la table.



- 1 bouton Supprimer qui permet la suppression d'un enregistrement existant dans la table.



- 1 bouton lister, nous renvoie vers une nouvelle fiche dans laquelle il est affiché un tableau contenant les enregistrements de la table Champs.



- 1 bouton recherché, qui permet de rechercher un enregistrement dans la table et de l'afficher dans la fiche Champs.



- 1 bouton fermer, ce bouton sert pour quitter la fiche Champs et revenir a la fiche menu.



### Quatrième Fiche : La Fiche Tracteur

Cette fiche existe pour saisir les informations concernant le Tracteur et d'enregistrer toutes ces informations afin de générer la base de données et de pouvoir faire appel a un tracteur lors d'un travail. Les informations retenues pour générer la base de données dans ce cas la table Tracteur doivent être saisie dans des champs de saisie qui sont énuméré si dessous et définie plus haut dans le document.

Figure 20 : Fiche des tracteurs

**Les champs de saisies pour cette fiche sont :**

- Code Tracteur
- Désignation du Tracteur : c'est le nom que le constructeur donne au tracteur exemple CIRTA 6006
- Type du Tracteur : les différents types de tracteurs recensés sont caractérisés par :
- Puissance : est exprimée en cv
- Nombre de cylindre
- Cylindrée : c'est un volume
- Couple maximal : est exprimée en m.N
- Capacité du réservoir
- Consommation horaire
- Consommation spécifique
- Poids du tracteur : le poids est exprimer kg.

**Les boutons**

Dans cette fiche, nous avons également 9 boutons qui sont :

- 4 boutons pour la navigation, pour parcourir directement la table Tracteur.



- 1 bouton Nouveau, pour un nouvel enregistrement.



- 1 bouton Supprimer, il permet la suppression d'un enregistrement existant.



- 1 bouton lister, nous renvoie vers une nouvelle fiche dans laquelle il est affiché un tableau contenant les enregistrements de la table Tracteur.



- 1 bouton recherché, il permet de chercher un enregistrement dans la table et de l'afficher dans la fiche Tracteur.



- 1 bouton fermer, ce bouton est la pour quitter la fiche Tracteur et revenir a la fiche menu.

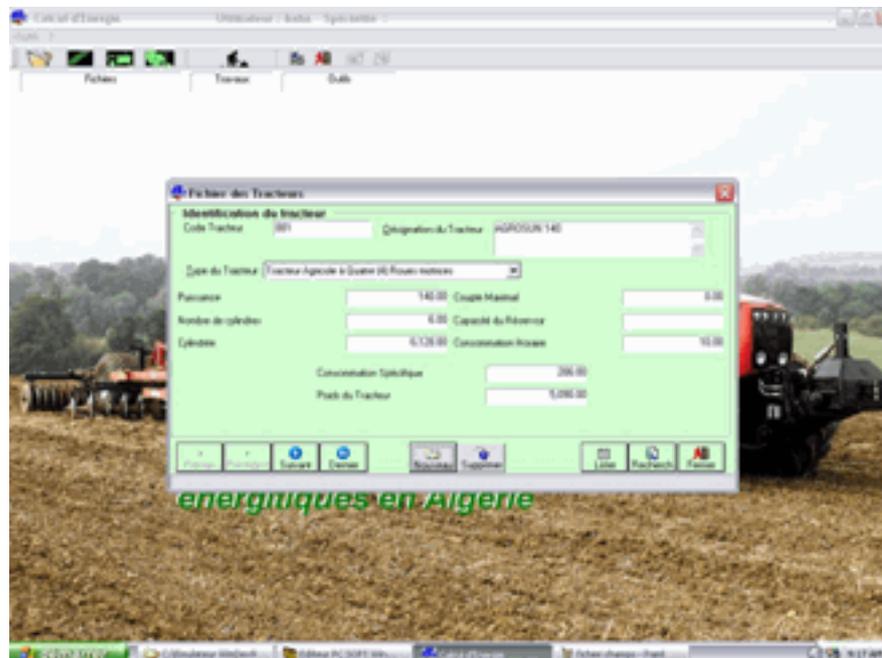


Figure 21: fiche des tracteurs dans l'environnement programme

### La cinquième Fiche : La Fiche Machines Agricoles

Cette fiche donne accès à la table Machines Agricole pour enregistrer les informations relatives au Machines Agricoles, informations déjà définies dans les chapitres précédents, ou afin de naviguer dans la table des Machines Agricole qui est une composante de notre base de données.

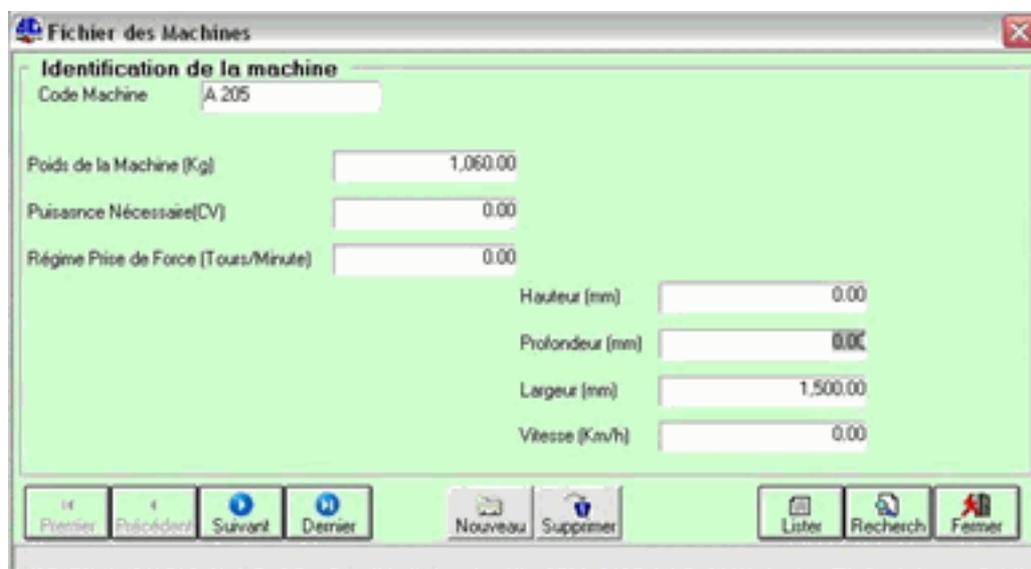


Figure 22 : Fiche des Machines

Les champs de saisies pour cette fiche sont :

- Code Machine Agricole : qui est un code d'identification dans la table Machines Agricole, il permet de classer les enregistrements.
- Poids de la Machine Agricole
- Puissance nécessaire : c'est la puissance que doit avoir le tracteur pour effectuer un travail en étant associé à la Machine Agricole.
- Régime de la prise de force : deux régimes caractérise la plus part des Machines Agricoles
- Hauteur : choisi et régler par l'utilisateur de la machine agricole
- Profondeur : choisi et régler par l'utilisateur de la machine agricole
- Largeur : choisi et régler par l'utilisateur de la machine agricole
- Vitesse : choisi et régler par l'utilisateur de la machine agricole

### Les boutons

- 4 boutons pour la navigation, pour parcourir directement la table Machines Agricole.



- 1 bouton Nouveau, pour un nouvel enregistrement.



- 1 bouton Supprimer, il permet la suppression d'un enregistrement existant.



- 1 bouton lister, nous renvoie vers une nouvelle fiche dans laquelle il est afficher un tableau contenant les enregistrements de la table Machines Agricoles.



- 1 bouton rechercher nous permet de chercher un enregistrement dans la table et de l'afficher dans la fiche Machines Agricole.



- 1 bouton fermer, ce bouton sert pour quitter la fiche Machines Agricoles et revenir à la fiche menu.



Comme au niveau de la fiche précédente, il y a également 9 boutons.

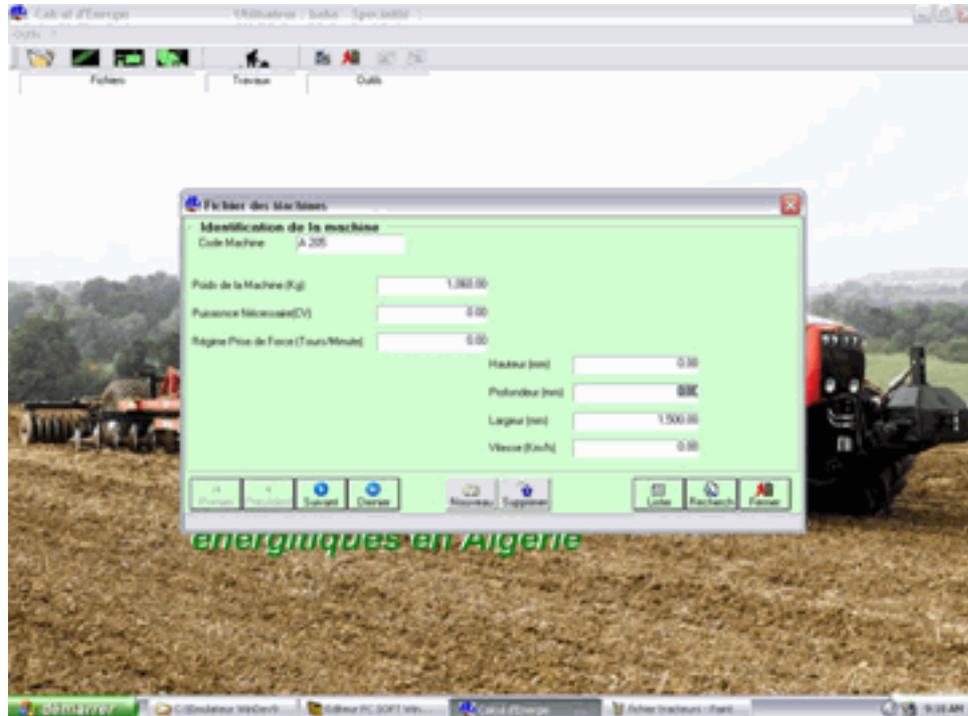


Figure 23: Fiche des Machines dans l'environnement programme

### La sixième Fiche : La fiche Passages

Cette fiche est celle qui nous permet d'exploiter les tables précédemment alimentées par les informations nécessaires et relatives à chacune d'elle. Cette fiche nous permet de faire l'évaluation de l'énergie consommée lors d'un travail ou d'une opération bien définie.

En associant un Tracteur à une Machine Agricole donnée, cela permettra au programme de calculer et d'afficher la valeur de l'énergie nécessaire à cette opération.

Toutes les informations étant saisies, choisies et calculées, seront enregistrées dans une table Travaux (Passage) composant entre autres la base de données.

Au niveau de cette fiche tout notre travail prend un sens, C'est l'objectif principal de notre travail.

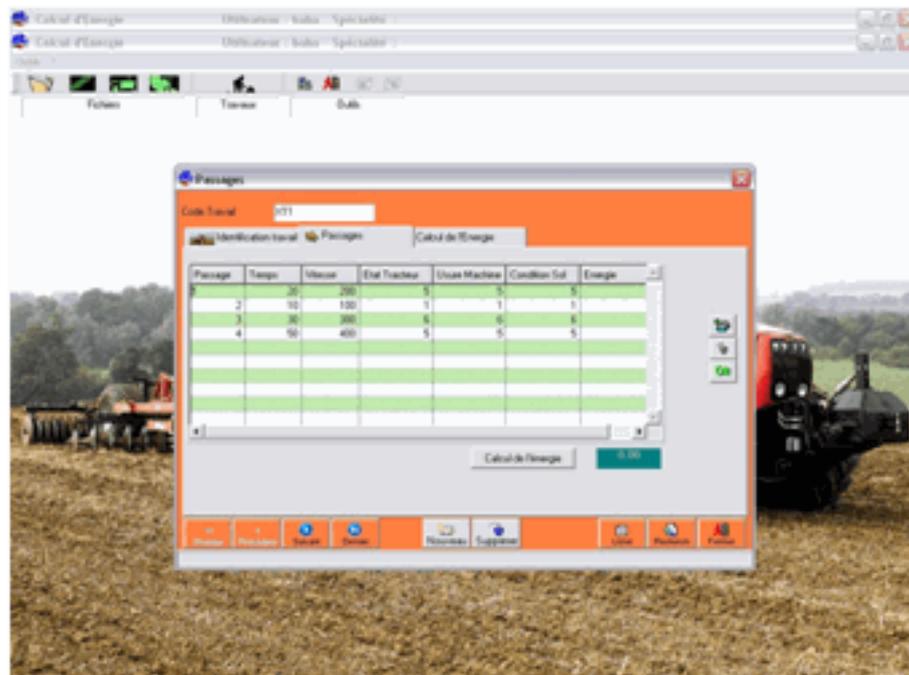


Figure 24 : Onglet Passage de la fiche Passages dans environnement programme

Cette fiche permet d'évaluer l'énergie par deux méthodes :

- La première on utilisant la méthode du réservoir plein et s'appuyant sur les informations stockées dans la table '**tracteur**'.
- La deuxième méthode est celle de l'effort de résistance à la traction, utilisant les modèles mathématiques. Le programme nous renvoie vers un autre programme appelé DERT.

### Les champs de saisies

Ces champs dépendent de l'onglet choisi, nous devant choisir une parcelle de la table Parcelle, un champ de la table Champs, un tracteur de la table Tracteur et une machine agricole de la table Machines Agricoles.

Trois champs doivent être saisis, celui du nom du travail réalisé, caractéristique du travail et commentaire.

### Les boutons

Pour ce qui est des boutons d'exécution, nous en avons 9 boutons

- o 4 boutons pour la navigation, pour parcourir directement la table Travaux (Passage).



- o 1 bouton Nouveau, pour un nouvel enregistrement.



- o 1 bouton Supprimer, il permet la suppression d'un enregistrement existant.



- o 1 bouton lister, nous renvoie vers une nouvelle fiche dans laquelle il est affiché un tableau contenant les enregistrements de la table Travaux (Passage).



- o 1 bouton recherché, permet de rechercher un enregistrement dans la table et de l'afficher dans la fiche Travaux (Passage).



- o 1 bouton fermer, ce bouton sert pour quitter la fiche Travaux (Passage) et revenir a la fiche menu.



Cette dernière fiche **passages** nous donne la possibilité de passer d'un onglet à un autre facilement, il en existe trois.

#### **Onglet de l'Identification travail**

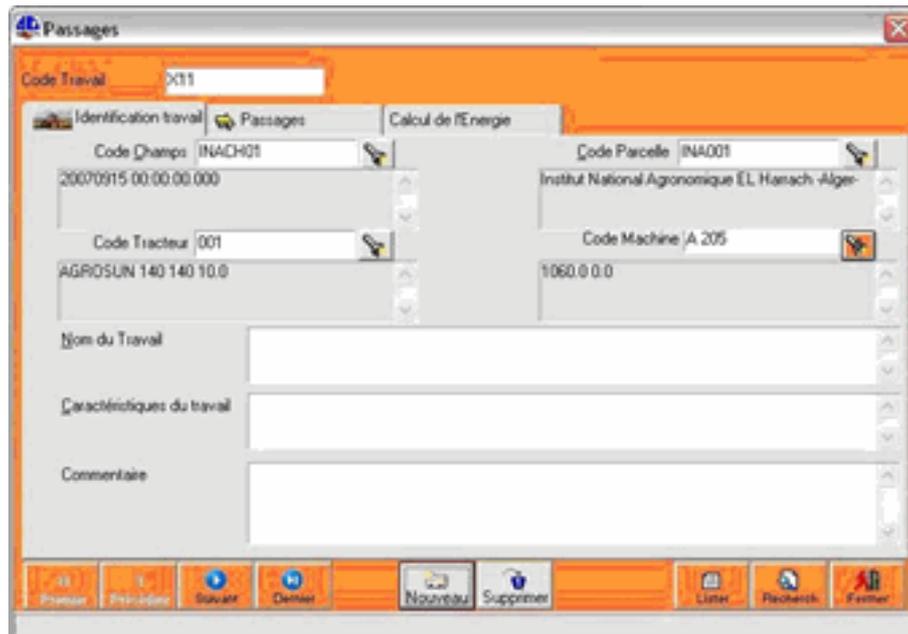


Figure 25 : Fiche Passages, Onglet Identification Travail

Dans cet onglet, nous choisirons la parcelle et le champ dans lequel le travail sera fait. Aussi nous définissons le Tracteur et la Machine Agricole avec lesquelles le travail sera fait. Une fois le Tracteur et la Machine Agricole choisis les champs d’affichage nous permettent de comparer manuellement la puissance du tracteur avec la puissance nécessaire au bon fonctionnement de la machine agricole.

Pour ces quatre choix (parcelle, champs, tracteur et machines agricoles) nous devons cliquer sur le bouton de recherche à côté de chaque champ relatif au paramètre choisi. En d’autre terme pour le choix de la parcelle, il faut cliquer sur le bouton de recherche sur la liste des parcelles et choisir la parcelle qui convient, précédemment enregistrée dans la table *Parcelle* à l’aide de la fiche *Parcelle*.

La même chose est à faire pour choisir un champ existant dans la parcelle choisie et précédemment enregistrée dans la table *Champs*. Nous choisissons le tracteur et la machine agricole on cliquant sur les boutons respectifs à chaque champ d’affichage.

Une saisie dans les champs de saisies type de travail, caractéristiques du travail et commentaire.

### Onglet des Passages

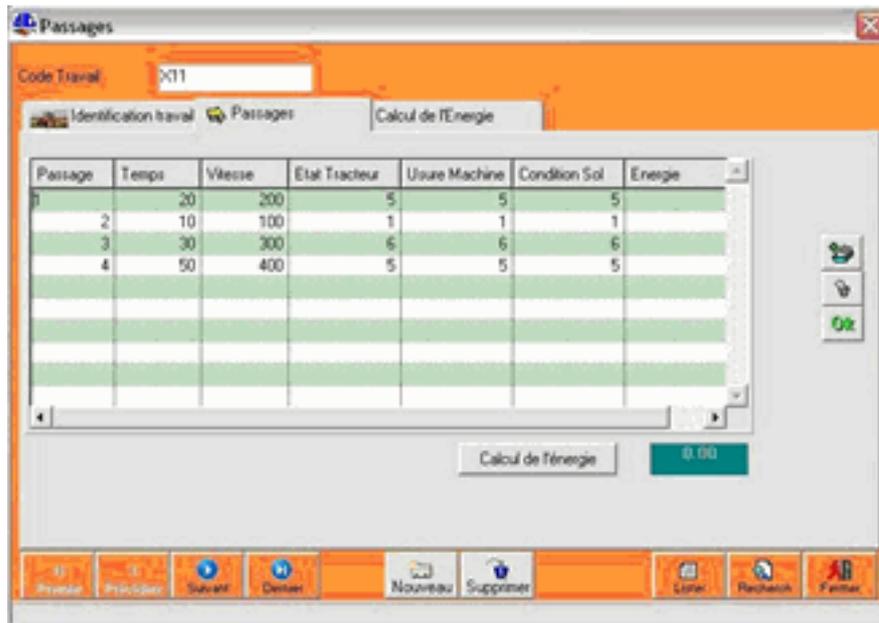
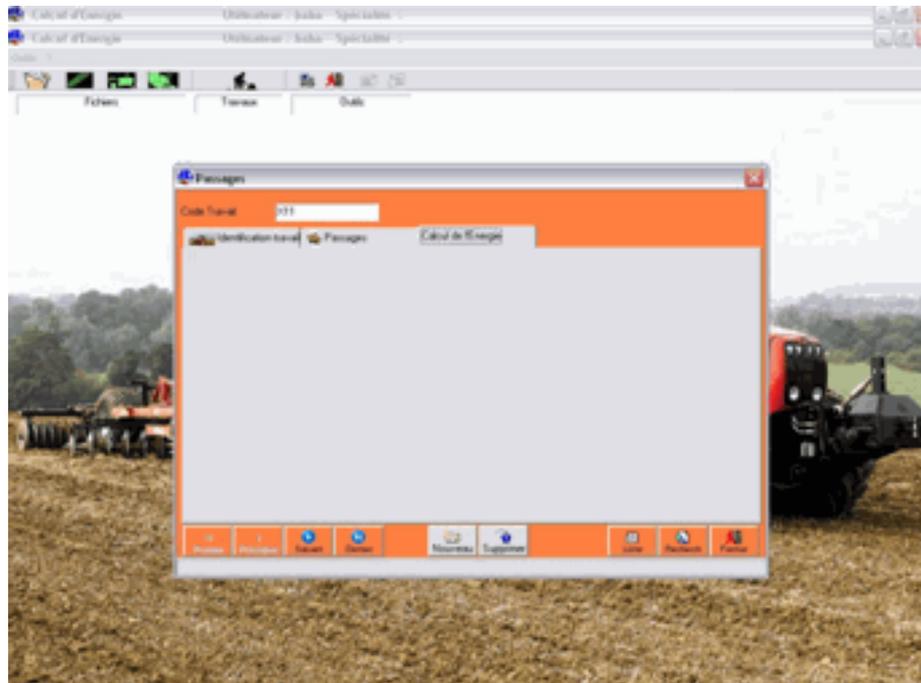


Figure 26 : Fiche Passages, Onglet Passages.

Dans l'onglet passage un calcul de l'énergie est fait. Le tableau afficher permet de définir le nombre de passage nécessaire, ainsi que les paramètres qui vont influencer la consommation du carburant. Le nombre de passage déterminer et les paramètres fixer pour chaque passage, nous appuyant sur le bouton calcul. Toute suite la valeur de l'énergie consommée totale en TEP est affichée dans champs d'affichage ainsi que les valeurs de l'énergie pour chaque passage dans la même table des caractéristiques influençant l'énergie.

### Onglet de Calcul de l'énergie

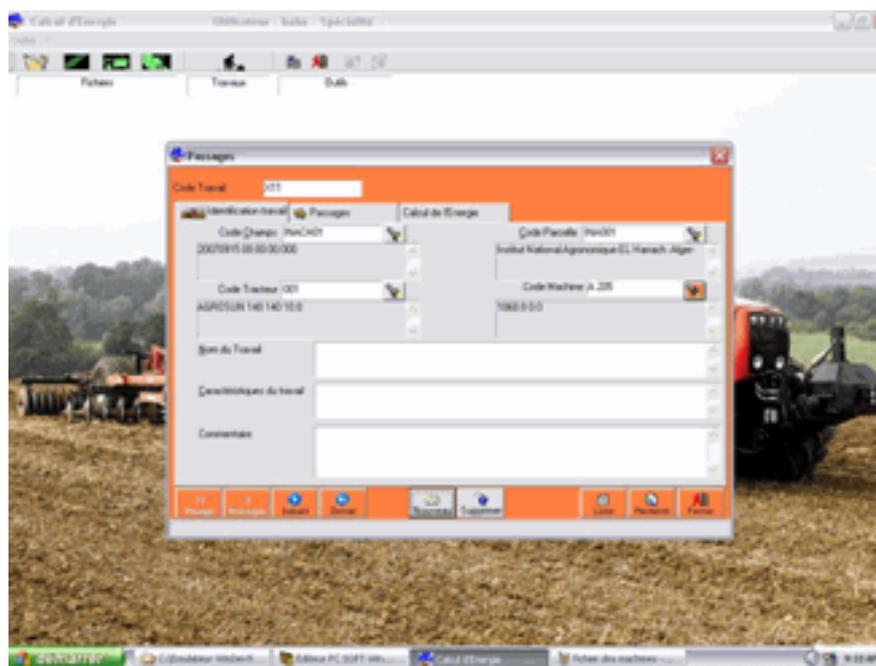


*Figure 27 : Onglet Calcul Energie de la fiche Passages dans environnement programme*

Dans cet onglet, le calcul de l'énergie se fait par le biais des cinq modèles mathématiques de l'effort de résistance à la traction  $F_t$ , proposés. En choisissant le modèle il faut par la suite introduire les paramètres qui vont permettre l'évaluation de  $F_t$ . Une conversion des valeurs serait nécessaire pour permettre de comparé les résultats obtenus par les deux méthodes.

Cet onglet nous renvoi vers le programme DERT qui permet l'évaluation d'énergie lors d'un travail du sol en utilisant les modèles mathématiques.

Sur cette fenêtre,



*Figure 28 : fiche Passages dans l'environnement Programme*

Nous accédons à :

L'onglet : Identification « Travail »

Sur cette fenêtre, le bouton  nous permet de choisir une parcelle, un champ, un tracteur et ou une machine agricole, préalablement enregistrée.

Figure 29 : Onglet Identification travail

Les trois champs de saisies permettent une identification du travail avec des informations ou paramètres importants avec des commentaires, que les chercheurs pourront trouver intéressants pour l'établissement de la base de données.

L'onglet Passages

Passage	Temps	Vitesse	Etat Tracteur	Usure Machine	Condition Sol	Energie
1	20	200	5	5	5	5
2	10	100	1	1	1	1
3	30	300	6	6	6	6
4	50	400	5	5	5	5

Figure 30 : Onglet Passages.

Cet onglet nous donne la possibilité de calculer l'énergie nécessaire à un passage du tracteur avec une machine, avec la même combinaison nous pouvons faire plusieurs répétitions donc plusieurs passages, ce qui est valable pour certaines opérations qui nécessitent deux à trois passages pour atteindre par exemple une structure donnée.

Une fois le nombre de passage défini, la saisie des informations complémentaires pour le calcul de l'énergie est indispensable.

Par exemple dans notre cas : Il faudra donner, outre le nombre d'heure de travail, le pourcentage qui sera fonction de l'état de tracteur, de l'usure de la machine utilisée et les conditions du sol qui sont source de perte de l'énergie consommée dans un passage.

Les résultats obtenus des différents passages seront cumulés pour donner l'énergie totale relative à l'opération effectuée.

L'onglet Calcul de l'énergie

Cette onglet renvoi automatiquement vers le programme DERT, ce module (DERT) permet le calcul de l'énergie en utilisant des modèles mathématiques.

### **Les fiches « liste »**

Elles nous permettent de lister les *différentes* parcelles, les champs, les tracteurs et les machines agricoles.

### **Les fiches recherches**

Ils nous donnent la possibilité de faire des recherches rapide et efficace sur des informations enregistrées dans la base de données.

# Conclusion Générale et Perspectives

Le programme dans sa version actuel reste incomplet. Toute fois l'**objectif** principal, à savoir l'évaluation des besoins en énergie pour la réalisation des différentes opérations culturales pour la mise en place d'une grande culture, nécessaire pour générer une base de données, que nous nous somme fixé est atteint.

Pour la détermination des besoins en énergie pour les opérations de travail du sol, le programme informatique utilise deux méthodes, celle du réservoir plein et celle de l'effort de résistance à la traction.

Pour plus de précision et d'efficacité des résultats, nous avons utilisé, pour la détermination de l'effort de résistance à la traction, des modèles mathématiques tenant compte de plusieurs paramètres comme l'état initial du sol quantifié par sa masse volumique, et les caractéristiques géométriques propres aux pièces travaillantes des outils aratoires.

Ce qui pourrait être fait pour améliorer ce programme informatique, c'est d'intégrer des tests, des analyses statistiques, des représentations graphiques, un partage des données dans un réseau local ou distant, l'établissement d'une carte des consommations d'énergie pour le travail du sol en Algérie, une répartition de la consommation énergétique en agriculture dans le territoire national sur une carte nous permettra de prendre des décisions stratégiques.

Nous pourrons aussi équiper nos tracteurs de différents capteurs pour récolter des données en directe sur l'exploitation et pendant le travail agricole en chantier, de traiter ces données instantanément et de renvoyer les résultats de l'analyse de ces données à l'agriculteur dans le poste de pilotage du tracteur, sur le poste de pilotage au bureau de l'agriculteur et pourquoi pas sur le poste du chercheur et de celui des organismes chargés du recensement et des statistiques agricoles algériennes.

Une autre possibilité de l'utilisation du programme informatique proposé est l'exploitation des modèles mathématiques utilisés pour une optimisation de l'utilisation des outils aratoires et même pour une amélioration de la forme des surfaces actives.

Enfin, les informations collectées nous renseigneront sur le comportement des agriculteurs ainsi que leurs pratiques culturales. L'analyse de ces données peut aussi donner aux scientifiques ainsi qu'aux institutions responsables du secteur agricole (Ministère, INRA, ITGC...) la possibilité d'anticiper et de prédire les besoins en carburant pour la mise en place d'une culture donnée, les besoins en puissances des tracteurs utilisés, les types de tracteurs et de machines agricoles à choisir.

Ces informations (données) et leur analyse serviront par exemple à la PMA Trading ex ONAMA pour élaborer sa stratégie de vente des tracteurs et des machines agricoles.

Les perspectives de ce programme sont nombreuses et multiples. Nous citerons celles qui nous paraissent les plus importantes et les plus indispensables pour des applications dans le machinisme agricole. Certaines de ces applications sont de l'ordre décisionnel et d'autres exécutives.

Pour celles qui sont exécutives, la collecte des informations et leurs traitements nous permettront d'avoir une base de données intéressante pour décider des puissances et des quantités de tracteurs à mettre à la disposition du secteur agricole et cela en tenant compte des caractéristiques pédoclimatiques régionales qui sont des éléments de base du programme informatique.

Pour cela :

- Le programme informatique proposé doit être diffusé au niveau des différentes structures agricoles de l'Algérie.
- Créer un réseau informatique permettant de collecter les différentes informations contenues dans le programme.
- Analyser et hiérarchiser les informations au niveau de chaque région

Les principaux paramètres à faire ressortir seront respectivement :

- Caractéristiques agro techniques des différentes exploitations agricoles, comme la texture des sols, la situation géographique et les surfaces emblavées des différentes exploitations.
- Le type et moyens de traction, notamment les tracteurs en faisant ressortir la puissance et l'état mécanique.
- Moyens matériels utilisés avec leurs caractéristiques techniques.

Ces premiers éléments permettront d'avoir une base de données sur la situation de la mécanisation agricole en Algérie pour chaque région.

La deuxième partie du programme informatique, relative aux besoins en énergie pour les différentes opérations culturales, propose de définir et d'évaluer les besoins en énergie pour les différentes opérations culturales à réaliser et par conséquent, les informations collectées permettraient une évaluation des besoins pour chaque région. Ce qui permettra d'établir une carte nationale des besoins énergétiques et indirectement équiper les différentes régions en fonction de leurs besoins effectifs ce qui est d'ordre décisionnel.

Le programme dans sa version finale et complète, permettra de simuler la consommation en énergie pour des travaux d'un sol donné. Ce qui permettra de choisir la meilleure combinaison possible pour faire un travail du sol donné sans surconsommation.

Nous pouvons dans une perspective d'avenir mettre au point un test pour comparer l'adaptabilité d'un tracteur disponible avec les machines Agricoles et traiter la compatibilité.

Deux autres tests au niveau du programme qui traite l'effort de résistance à la traction peuvent être proposés, le premier est un test du « lit de semences » et le deuxième est un test « état sol ».

Le programme informatique proposé est entièrement manuel dans les choix des machines agricoles, des tracteurs, du type de travail et des modèles mathématiques ; c'est l'utilisateur qui décide de la méthode à utiliser ainsi que du réglage des différents paramètres en relation avec les conditions du milieu où il doit intervenir.

---

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amar., 1994. Evaluation de la consommation de carburant d'un tracteur agricole. Mémoire d'ingénieur. INA, 1994.
- Amara M., 1978. Optimisation de l'ensemble tracteur C6006 houe rotative pour la préparation du sol. Mémoire d'ingénieur. INA, 1978.
- Amara M., 1983. Influence des principaux paramètres constructifs de deux corps de charrue à versoir universel et cylindrique et la vitesse de travail sur les indices qualitatifs du labour.-Thèse de magister. INA. El Harrach.
- Amara M., 2007. Contribution à la modélisation : interface outils aratoire-sol.-Thèse doctorat. INA, 2007.
- Anonyme, 1979. Les façons du travail du sol.  
Etude du C N E E MA, N° 455, Tome 4.
- Anonyme, 2001. Ecologie - Energie et agriculture
- Anonyme, 2003. Vulgarisation, fiche technique des céréales de l'institut technique des grandes cultures (ITGC). El Harrach
- Badouna B., 2002. Conception d'une base de données et établissement d'un programme informatique pour l'évaluation de l'effort de résistance à la traction des outils aratoires.Mémoire d'ingénieur, INA, El Harrach.
- Barthelemy P., et al, 1992. Travail du sol, choisir les outils de travail du sol. Ed. ITFC.
- Ben Alaya A., 1990. Analyse de la force de résistance à la traction en relation avec les paramètres constructifs des outils aratoires (charrue à soc).Thèse d'ingénieur, INA. El Harrach.
- Binesse M., 1970. Cisaillement et résistance spécifique du sol lors du labour classique. Mémoire de fin d'étude (CNEEMA, n° 341-342. France).
- Boubrit B., 2000. Evaluation de la résistance d'une dent en fonction des caractéristiques physiques et mécaniques du sol. Application de l'analyse dimensionnelle et modélisation. Thèse de 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, INA, El Harrach
- Coulomb I., 1991. Analyse quantitative du comportement du sol lors des labours classiques.  
Thèse de doctorat, INA, Paris-Grignon.
- Dalleine E., 1971. Techniques Agricoles, fascicule 504, Paris.
- Dalleine E., 1962. Notes pour le siège N°904, 1228.
- Gao Qiong., Pitt R.E., Ruina A., 1986. A Model to Predict Soil Forces on the Plough Mouldboard. Journal of Agricultural Engineering Research n°35, p.141-155.

- Gaucher G., 1968. Traité de pédologie agricole. Ed. dunod. Livre 1968.
- Gee Clough., D.G. et AL., 1978. The empirical prediction of tractor implement field performance. J. of Terramechanics, 15 (2) p.81-94
- Godwin RJ et Al., 1996. Soil dynamics of single and multiple tines at speed up to 20 Km/h. J-AGR-ENG-RES, n° 000 unpublished.
- Goryatschkin V.P. et Sohene., 1960. Collected Works in Three Volumes. Ed. N. D. Luchinskii. Translated 1972. Jerusalem, Israel :Ketter Press.
- Gowell G., 1985. Southeastern tillage energie data and recommended reporting. Transaction of ASAE, vol 28 n° 3, p : 731 – 737
- Henin., 1976. Cour de physique du sol Tome 1. Edition Masson, Paris
- Henin., 1977. Cour de physique du sol. Tome 1. Ed ORTOM, Paris.
- 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. INA. El Harrach.
- Kanafojski et AL., 1967. Théorie et construction des machines agricoles. Tome 1. Ed, D'état des ouvrages en agriculture et foresterie. (P.W.R.L) VARSOVIE (en polonais), 826p.
- Kessira M., 1988. Analyse du mode d'action des outils aratoires sur l'état du sol et conséquence sur les besoins énergétiques (cas des pseudos labours) -Thèse d'Ingénieur. INA. El Harrach.
- 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. INA. El Harrach.
- Ladi S., et 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, INA, El Harrach
- Larson L., W et al. , 1968. predicting draft forces using mouldboard plows in agricultural soils. Transactions of ASAE, 11, p. 665-668. 31-Mac Gregor R.J., et al. Consommation d'énergie.
- [www.agr.gc.ca/policy/environment/pdfs/aei/fchap17.pdf](http://www.agr.gc.ca/policy/environment/pdfs/aei/fchap17.pdf)
- Mesri D., 1982. Etude des corps de charrue pour labour rapide et de quelque conséquence de l'accroissement de la vitesse de travail.
- Thèse de doctorat, INA, Paris-Grignon.
- Meziani B., 1993. (Evaluation de la consommation en combustible lors des différentes opérations de travail du sol. Mémoire d'Ingénieur. I.N.A El Harrach Alger 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. INA. El Harrach.
- Nikiforov., 1974. Etude de l'adaptation d'une série de corps de charrue au labour rapide. Bulletin du CNEEMA, n°235 et 236, Antony, France.

- O'cclaghan et McCOY., 1965. The handing soil by mould board plows. Journal of Agricultural Engineering Research vol 10 n° 1, p : 23 – 35
- Oskoui K.E. et AL., 1982. The Determination of Plough Drought. Part II. The Measurement and Prediction of Plought Drought for Two Mouldboard Shape in Three Soil Series. Journal of Terramechanics, 19, p.153-164.
- Rieu C., 2001. Le sol (les enjeux économique de la simplification du travail du sol). [www.inra.fr/actualites/DOSSIERS/sol/labour10.html](http://www.inra.fr/actualites/DOSSIERS/sol/labour10.html)
- Sandru A., 1975. Machines Agricoles pour la mise en état et la préparation du sol.Cours polycopier, INA. El Harrach.
- Severkey et Tsyganov., 1982. Economie d'énergie dans les travaux de culture, en Europe. Bulletin du CNNEMA, n°292. France.
- Terzaghi K., Peck R.B., 1967. Soil mechanics in engineering practice.New York, John Wiley, second edition, 729p.