

PLAN DU COURS DE MECANISATION AGRICOLE

PREMIERE PARTIE : MECANISATION AGRICOLE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : LES GENERALITES

1.1. DEFINITION DES CONCEPTS

1.1.1 Motorisation agricole

1.1.2. Mécanisation agricole

1.2. HISTORIQUE DE LA MECANISATION AGRICOLE

1.2.1. Technologie des outils à main

1.2.2. Technologie de la traction animale

1.2.3. Technologie mécanique

1.2.3.1. Situation mondiale des équipements agricoles

1.2.3.2. Choix de la motorisation agricole d'un pays.

CHAPITRE II : LA MECANISATION DU LABOUR

2.1. DEFINITIONS

2.2. EXECUTION DU LABOUR

2.2.1. Labour en planches

2.2. 2. Labour à plat

CHAPITRE III : LA MECANISATION DU TRANSPORT AGRICOLE

3.1. POIDS A DEPLACER

3.2. VOLUME A DEPLACER

3.2.1. Cycle et temps d'exécution des travaux

3.2.2. Production et rendement

CHAPITRE IV : L'ECONOMIE DE LA MECANISATION AGRICOLE

4.1. GENERALITES

4.2. CALCUL DU PRIX DE REVIENT HORAIRE PREVISIONNEL DU TRAVAIL DES ANIMAUX DE TRAIT

4.2.1. Cas de travail en exploitation familiale

2.2.1.1.Frais fixes

2.2.1.2. *frais variables sous certaines conditions*

2.2.1.3. *Frais essentiellement variables.*

4.2.2. Cas de travail en exploitation industrielle

4.2.2.1. *Frais du capital*

4.2.2.2. *Dépenses de nourriture*

4.2.2.3. *Dépenses d'entretien*

4.2.2.4. *Frais de conduite*

4.2.2.5. *Frais généraux*

4.3. CALCULS ECONOMIQUES DE L'UTILISATION DES MACHINES EN MOTOCULTURE

4.3.1. Prix de revient prévisionnel

4.3.1.1. *Frais fixes*

4.3.1.2. *Frais variables sous certaines conditions*

4.3.1.3. *Frais essentiellement variables.*

4.3.2. Prix de revient réel

DEUXIEME PARTIE : LA MECANISATION DES PRINCIPALES CULTURES CONGOLAISES.

CHAPITRE I : PLANTES RACINES ET TUBERCULES

1.1. LE MANIOC (Manihot esculenta CRANTZ)

1.1.1. Généralités

1.1.2. Ecologie

1.1.3. Systèmes de culture

1.1.4. Mécanisation de la culturale

1.1.4.1. *Préparation du sol*

1.1.4.2. *Plantation*

1.1.4.3. *Epannage d'engrais*

1.1.4.4. *Entretien.*

1.1.4.5. *Récolte*

1.1.4.6. *Chargement et transport*

1.1.4.7. *Transformation*

CHAPITRE II : LES CEREALES

2.1. LE MAÏS (Zea mays L.)

2.1.1. Généralités

2.1.2. Écologie

2.1.2.1. *Climat et sols*

- 2.1.2.2. *Morphologie de la plante*
- 2.1.3. *Systèmes de culture*
- 2.1.3.1. *Culture associée ou pure*
- 2.1.4. *Mécanisation de la culture*
- 2.1.4.1. *Préparation du sol*
- 2.1.4.2. *Semis*
- 2.1.4.3. *Entretien de la culture*
- 2.1.4.4. *Récolte*
- 2.1.4.5. *Transformation*

2.2. Le Riz (*Oryza sativa*)

- 2.2.1. *Généralités*
- 2.2.2 *Ecologie*
- 2.2.2.1. *Climat et sols*
- 2.2.3. *Morphologie de la plante*
- 2.2.4. *Systèmes de culture*
- 2.2.4.1. *Riziculture sans submersion*
- 2.2.4.2. *Riziculture aquatique*
- 2.2.5. *Mécanisation de la riziculture sans submersion*
- 2.2.5.1 *Aménagement des parcelles*
- 2.2.5.2. *Préparation des sols*
- 2.2.5.3. *Epanchage d'engrais*
- 2.2.5.4. *Semis*
- 2.2.5.5. *Entretien et protection de la culture*
- 2.2.5.6. *Récolte et battage*
- 2.2.6. *Petite mécanisation en riziculture irriguée*
- 2.2.6.1. *Nivelage et préparation des sols submergés*
- 2.2.6.2. *Repiquage*
- 2.2.6.3. *Entretien et protection de la culture*
- 2.2.6.4. *Récolte*
- 2.2.7. *Motorisation conventionnelle en riziculture irriguée*
- 2.2.7.1. *Nivelage*
- 2.2.7.2. *Préparation des sols*
- 2.2.7.3. *Semis*
- 2.2.7.4. *Récolte et battage*
- 2.2.8. *Riziculture partiellement motorisée*
- 2.2.8.1. *Nivelage et préparation des sols*
- 2.2.8.2. *Récolte et battage*
- 2.2.8.3. *Séchage et transformation*

CHAPITRE III : LEGUMINEUSES

3.1. L'Arachide

- 3.1.1. *Ecologie*
- 3.1.2. *Les systèmes de culture*

- 3.1.3. La mécanisation des opérations culturales
 - 3.1.3.1. *La préparation des sols*
 - 3.1.3.2. Le semis
 - 3.1.3.3. La fertilisation des cultures
 - 3.1.3.4. L'entretien des cultures
 - 3.1.3.5. *La protection phytosanitaire des cultures*
 - 3.1.3.6. *La récolte*
 - 3.1.3.7. Le séchage au sol ou ressuyage
 - 3.1.3.8. La coupe des fanes
 - 3.1.3.9. Le fanage des andains
 - 3.1.3.10. *Le battage*
 - 3.1.3.11. *La transformation*

3.2. Le Soja (Glycine max L. Merrill)

- 3.2.1. Écologie
- 3.2.2. Les systèmes de culture
- 3.2.3. La mécanisation des opérations culturales
 - 3.2.3.1. La préparation du sol
- 3.2.4. Le semis
- 3.2.5. La fertilisation et les amendements
- 3.2.6. L'entretien des cultures
- 3.2.7. La protection des cultures
- 3.2.8. La récolte

CHAPITRE IV : PLANTE SACCHARIFERE

4.1. La Canne à sucre (Sacharum sp.)

- 4.1.1. La production de sucre de canne
- 4.1.2. Écologie
- 4.1.3. Les systèmes de production
- 4.1.4. Les modes de culture et les structures de production
- 4.1.5. Les contraintes majeures de production
- 4.1.6. La situation de la mécanisation et les facteurs d'évolution
- 4.1.7. Les aménagements pour la motorisation et l'irrigation
- 4.1.8. Les aménagements spéciaux: l'épierrage
- 4.1.9. Le drainage et l'irrigation
- 4.1.10. La mécanisation des opérations culturales
- 4.1.11. La mécanisation partielle de la plantation
- 4.1.12. La mécanisation totale de la plantation
- 4.1.13. L'entretien de la culture
- 4.1.14. Récolte

INTRODUCTION

Le machinisme agricole est l'application du machinisme à la production agricole. Il est un fait de plus en plus évident que le progrès technique transforme constamment ce secteur d'activité agricole et le marque de son empreinte.

En effet, en matière de machinisme agricole, comme d'ailleurs pour les matériels convenant aux autres secteurs de production, le progrès technique se caractérise par une intensification croissante faisant appel à une constante augmentation que l'on observe indiscutablement.

La mécanisation agricole assure, en effet, un confort accru et réduit de plus en plus la peine physique des travailleurs, au fur et à mesure qu'elle s'améliore, elle augmente la productivité du travail et de la terre en accroissant ainsi, le revenu monétaire des exploitants agricoles. Nous pouvons donc affirmer que le machinisme agricole est certainement le secteur agricole dont dépend, actuellement et sans aucun doute, le développement des nations qu'il libère de beaucoup des contraintes et des soucis majeurs de notre génération.

Le cours de mécanisation agricole complète celui de moteurs et machines agricoles qui figure au programme de 2^{ième} Graduat en sciences agronomiques. Il traite de l'utilisation des machines en agriculture, un accent particulier étant mis sur les opérations agricoles les plus mécanisées en République Démocratique du Congo. Ce cours est divisé en 6 chapitres détaillés comme suit :

- les généralités
- la mécanisation du labour
- la mécanisation du transport agricole
- l'économie de la mécanisation agricole
- la mécanisation des principales cultures congolaises.

Les travaux pratiques qui complètent les enseignements théoriques présentés dans les pages suivantes, comprennent des visites de chantiers de mécanisation agricole, des projections de diapositives et des démonstrations des travaux mécanisés : le labour, le transport agricole et, la résolution des exercices de prix de revient d'utilisation des animaux de trait, des tracteurs et machines agricoles motorisées.

PREMIERE PARTIE : LA MECANISATION AGRICOLE

CHAPITRE I : GENERALITES

1.1 DEFINITION DES CONCEPTS

1.1.1 Motorisation agricole

La motorisation agricole est l'ensemble de tout ce qui concerne l'emploi des moteurs pour effectuer les travaux agricoles, à savoir :

- les *tracteurs* avec les *équipements* et les *machines automotrices*;
- les *motoculteurs* et autres *engins spécialisés*;
- les *moteurs* pour entraîner les machines utilisées à poste fixe, ou portées à dos d'homme.

1.1.2. Mécanisation agricole

Le concept " mécanisation " n'est pas perçu de la même façon par tout le monde. Pour une majorité de personnes, la mécanisation de l'agriculture est synonyme d'agriculture réalisée sur de grandes étendues et utilisant de gros tracteurs et d'autres grosses machines sophistiquées tel que les moissonneuses-batteuses. Pour d'autres, la mécanisation agricole est tout simplement synonyme de " motorisation " ou mieux de l'utilisation d'un tracteur agricole ; le terme motorisation signifiant le recours à une source d'énergie motorisée.

Dans le cadre de ce cours retenons que la mécanisation agricole est la combinaison de différents facteurs comme cela se dégage dans la définition de concepts repris ci-dessus et retenue par la F.A.O., à savoir que, « *la mécanisation agricole englobe la fabrication, la distribution et l'exploitation de tous les types d'outils, instruments, machines et matériels utilisés pour aménager et cultiver la terre, pour la récolte et pour la transformation primaire des produits agricoles* ». Elle fait appel à trois sources d'énergie qui sont : humaine, animale et mécanique.

1.2. HISTORIQUE DE LA MECANISATION AGRICOLE

En remontant le cours de l'histoire jusqu'aux origines même de l'humanité, on découvre le point de départ obligé du processus de mécanisation de l'agriculture : l'absence totale de mécanisation. A partir de cette origine se sont développées plus ou moins rapidement d'autres

étapes présentant chaque fois une amélioration sensible par rapport à la situation antérieure, comme repris dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU I : LES ETAPES DE LA MECANISATION AGRICOLE

ETAPE	1	2	3	4	5	6	7
<i>Exemple-type</i>	Arrachage de l'herbe à la main	Sarclage à la houe à main	Binage avec une houe à cheval	Moissonnage-liage avec traction animale	Moissonnage-liage avec traction animale et moteur auxiliaire	Tracteur et charrue de motoculture	Ventilation automatique
Intervention de l'homme	Directe, pénible et astreignant	Directe, pénible et astreignant	Partiellement indirecte, mais permanent, marche à pied pénible	Partiellement indirecte, mais permanente marche à pied pénible	Partiellement indirecte, mais permanente, plus confortable (siège possible)	Partiellement indirecte, mais permanente, plus confortable (surtout intellectuel)	Totalement indirecte, très intermittente, spécifiquement intellectuelle
Mécanismes utilisés	Néant	Outils manuels	Outils trainés à traction animale dérivés des outils manuels	Machines de traction animale simples ou évoluées (roue motrice)	Machines de traction animale avec moteurs auxiliaires	Matériels de motoculture	Matériels de motoculture plus organes de coordination automatique en fonction du programme préétabli
Productivité du travail de l'homme	La plus basse	Un peu améliorée	Amélioration brutale, dans le rapport de 7 à 1 (par	Nouvelle amélioration dans les rapports de 1 à 2 (par	Nouvelle amélioration	Amélioration brutale, dans le rapport de 5 à 1 (par rapport à 4)	Amélioration brutale, dans le rapport de 3 à 1 (par

(Indice : base 1 à 2)	P.m	1	rapport à 2) 7	rapport à 3) 1 4	20	70	rapport à 6) 210 (?)
Pénibilité du travail de l'homme	Maximale	Légère amélioration	Encore importante	Moyenne apparition du siège	Moyenne	Faible/ presque suppression totale de l'effort physique	Minimale dans l'état actuel de nos connaissances
Cout	Gratuité, en dehors de l'homme lui-même	Cout très réduit	Cout faible	Cout moyen	Cout moyen	Cout important	Cout important
Etat d'avancement dans l'échelle du progrès	Point de départ	Premier aboutissement apparent, tout le possible est tiré de l'homme	Stade préparatoire	Deuxième aboutissement apparent, tout le possible est tiré de l'animal de trait utilisé seul	Stade de transition et système hybride	Troisième aboutissement apparent, tout le possible est tiré du moteur inanimé	Dernier aboutissement Prévisible

Bien que ces étapes ont apparues successivement dans l'ordre indiqué dans ce tableau, la situation à une époque déterminée n'a jamais été clairement tranchée, même à l'heure actuelle, les exploitations agricoles

font généralement appel à des équipements qui se rattachent à la fois à plusieurs étapes différentes de la mécanisation.

Au point de vue agrotechnique étendue et en vue d'une meilleure compréhension des concepts, on peut situer plusieurs degrés de combinaisons de mécanisation agricole, à savoir :

- la technologie des outils à main
- la technologie de la traction animale
- la technologie mécanique, comme détaillé dans la partie consacrée à cet aspect de nos enseignements.

1.2.1. Technologie des outils à main

Dans la technologie des outils à main, l'homme est la principale source d'énergie. Il fournit normalement un travail de 7 à 10 kgm/seconde. En travail continu l'homme produit environ 8 kgm/seconde, soit approximativement une puissance d'un dixième de cheval. L'homme peut produire pendant de courtes périodes 0,4 cheval de puissance. La force moyenne que peut exercer un homme est à peu près égale au dixième de son poids.

Si plusieurs hommes travaillent ensemble, en chaîne, l'énergie moyenne de chacun d'eux diminue légèrement, car l'énergie totale est déterminée par l'ouvrier le plus lent de la chaîne. Un homme exerce sa force physique soit directement en marchant, poussant, tirant, pressant, levant, portant, jetant, soit indirectement, au moyen d'outils qui transmettent et accroissent son effort d'innombrables façons.

Etant donné la nécessité d'accroître le rendement du travail manuel, on recommande un certain nombre d'adaptations des outils à l'homme.

L'amélioration de l'outillage doit donc tenir compte des habitudes locales et se préoccuper de préserver la santé des agriculteurs. Signalons, toutefois, que des recherches récentes ont montré que les travaux exécutés à la main ou à l'aide d'animaux de trait présentent moins de danger pour la santé que ceux qui sont exécutés à l'aide de machines à moteur. Quoi qu'il en soit, l'évolution de la mécanisation agricole réside dans l'utilisation d'autres sources d'énergie que celle fournit par les forces musculaires humaines. Pour cette raison, nous ne nous étendons pas beaucoup sur la technologie des outils à main.

1.2.2. Technologie de la traction animale

Les animaux de trait peuvent servir, en agriculture, pour effectuer les travaux suivants : la traction des outils de préparation du sol et des façons superficielles ainsi que de la charrette. Ils peuvent aussi servir à porter les charges, à actionner un système de puisage de l'eau (Noria) ou à faire fonctionner les manèges.

Principale fonction assurée par les animaux de trait

La traction est la principale fonction assurée par les animaux de trait. Elle est possible, à condition que soient assurées les trois conditions suivantes :

- *l'axialité de la traction*
- *le parallélisme de l'organe de trait au sol porteur*
- *le parallélisme de la force de traction à l'axe de la voie.*

a) Axialité de la traction

L'axialité de la traction varie selon la disposition des animaux dans l'attelage. On distingue :

- *la traction axiale*
- *la traction péri-axiale*
- *la traction semi-axiale ou quasi- péri- axiale.*

La traction axiale correspond à la disposition des animaux dans l'attelage en ligne ou fil indienne. La traction péri-axiale est obtenue lorsque les animaux sont tous attelés par paires. La traction semi-axiale correspond à la disposition des animaux à la volée ou mixte. Dans cette disposition, l'axe de traction correspond à l'axe de symétrie de certains animaux et passe à côté d'autres.

b) Parallélisme de l'organe de trait au sol porteur

La traction est facilitée si l'organe de trait (Exemple : le timon) est parallèle au sol porteur. Sinon, l'animal perd beaucoup d'énergies pour assurer ce parallélisme indispensable.

c) Parallélisme de force de traction à l'axe de la voie

En courbure, la traction est rendue difficile étant donné l'impossibilité de faire correspondre l'axe de traction à celui de la route comme cela est le cas sur un trajet droit.

Facteurs déterminant l'effort de traction attendu d'un attelage

L'effort de traction attendu d'un attelage varie en fonction de (du) :

- *nombre des animaux attelés*
- *la disposition des animaux dans l'attelage*
- *poids et puissance des animaux*
- *la nature du terrain sur lequel se déroule le travail*
- *l'altitude du lieu où se déroule le travail.*

Le tableau ci-dessous montre comment évolue le rendement en fonction du nombre d'animaux attelés.

L'efficacité d'un attelage diminue avec le nombre d'animaux attelés. Cela s'explique par le fait que quand les animaux travaillent ensemble, à plus d'un, le rendement est déterminé par l'animal le plus lent. Ce tableau montre entre autres que le rendement qui est égal à 100 % est de plus que 77 % lorsqu'on travaille avec un attelage de 4 animaux.

TABLEAU 2 : TRAVAIL UTILE DE L'ATTELAGE D'APRES LE NOMBRE D'ANIMAUX

Nombre de bêtes	Rendement	Travail utile de l'attelage
1	1,00	1,00
2	0,93	1,86
3	0,85	2,55
4	0,77	3,08
5	0,70	3,50
6	0,63	3,79
7	0,56	3,92
8	0,49	3,92

Source : C.E.E.M.A.T (1975)

En rapport avec la disposition des animaux attelés, on observe un gain net de la force de traction en cas d'attelage par paire par rapport à l'attelage des animaux en ligne.

En cas d'attelage multiple, il convient chaque fois que c'est possible, d'atteler les animaux de front par paire, ainsi l'utilisation de la force de traction est bien meilleure qu'avec une attelée en file.

Dans le cas d'un attelage en file, il faut chercher à fixer les traits dans l'axe de traction. Dans le cas inverse on aura une déperdition de la force de traction du *limonier* (ou premier cheval dans la file).

Dans le cas de traction d'une charrette, l'extrémité des brancards des charrettes est généralement ferrée (est renforcée ou couvert par une moufle) et porte un anneau, dispositif qui sert à accrocher les traits du cheval qui est placé dans les brancards. Dans le cas de deux animaux attelés en file, par exemple, pour un travail de sarclo-binage, on aura ainsi intérêt à atteler chaque animal avec une paire de traits le reliant directement à la charrette. Il faut prévoir dans tous les cas une *suspente* (ou dossière) réglée en longueur. Le principal inconvénient de l'attelage en file se fait sentir lors des virages.

Fonctions secondaires

Outre la traction, les animaux de trait exécutent les fonctions suivantes :

- l'équilibrage de l'engin tracté
- le freinage
- le recul et le portage.

Ces fonctions citées ci-dessus, nécessitent l'utilisation des types particuliers d'organes de liaison dont : l'avaloir, le timon plus le palonnier avant. Le freinage peut être assuré aussi bien par l'animal que par la charrette elle-même. Il faut noter qu'il est généralement plus agréable pour un animal de tirer légèrement dans une descente que de retenir le véhicule, surtout pour les femelles gravides. Dans ce cas, on aura avantage à rouler avec les freins légèrement serrés. En ce qui concerne l'influence du poids et de la puissance des attelages, à la lumière des expériences du C.E.E.M.A.T effectuées dans différents pays tropicaux, on estime que les bovins peuvent fournir un effort continu, équivalent au 1/7 de leur poids, pendant 6 heures maximum et par jour. Les ânes, plus nerveux ainsi que les chevaux et les mulets peuvent atteindre 1/4 à 1/6 de leur poids en effort continu pendant 3 heures et demie à 4 heures au maximum et par jour. Les résultats de ces expériences ont, en outre, permis d'établir le tableau ci-dessous.

TABLEAU 3 : PUISSANCE DISPONIBLE EN CHEVAUX DES ANIMAUX DE TRAIT

Espèce et origine des animaux	Poids moyen en kilogramme	Force de traction en kilogramme (1)	Vitesse moyenne de travail en mètre / seconde	Puissance en kgm/seconde	Puissance en cheval au travail
Boeuf de Madagascar	350	45	0,6	30,0	0,40
Boeuf de Burkinafaso	300	37	0,6	22,2	0,30
Cheval du Sénégal	300	45	0,7	35,0	0,46
Ane lourd	150	25	0,6	15,0	0,20
Ane léger	100	15	0,5	7,0	0,10
Chameau	500	50	0,5	25,0	0,36

(1) Données moyennes pour un travail de longue durée pour l'espèce considérée

Le tableau III montre que, pratiquement, avec deux animaux, la puissance unitaire peut être multipliée par le coefficient 1,8, comme signalé précédemment.

L'influence du terrain sur lequel s'effectue le travail

L'effort de traction est déterminé par l'animal (le poids, l'endurance et la vitesse de travail) facteurs qui sont fonctions eux-mêmes du potentiel génétique (l'âge, la conformation et le tempérament de l'animal) et par l'environnement (la nourriture et l'état de santé, la conduite et le dressage, la résistance du sol et le type de harnais). En effet, la nourriture et l'état de santé influencent le poids de l'animal. La conduite et le dressage agissent sur le tempérament et donc l'endurance de l'animal. La résistance du sol influence la vitesse de travail. **On peut calculer l'effort de traction à l'aide de la formule suivante :**

$$F : P \times \text{Coefficient de traction}$$

F : Effort de traction en kilogramme

P : Poids de l'animal en kilogramme

Le coefficient de traction : 0,60 en terre meuble
0,55 en terre ferme.

L'effort de traction est influencé par l'altitude. Il permet avec, la vitesse de travail, de calculer la puissance disponible (Ch) d'après la formule

suivante : $\frac{F \cdot V}{75}$

F : effort de traction (kg)

V : vitesse (m/sec).

En traction animale, la vitesse de travail varie de 2,3 à 2,9 km/heure pour le labour et les travaux d'ameublissement. Elle atteint 6 km/h pour les autres travaux. En cas d'effort de traction exercé sur une charrette ou machines à roues, la puissance est limitée par la résistance au roulement qui est la force qui s'oppose au mouvement des roues. On peut calculer la résistance au roulement d'après la formule suivante :

$R.R = P \times \text{Coefficient de résistance au roulement}$

R.R : la résistance au roulement s'exprime en kilogramme

P : Poids sur roues s'exprime en tonne. Le coefficient de résistance au roulement s'exprime en kg/tonne

TABLEAU 4 : COEFFICIENT TYPE DE RESISTANCE AU ROULEMENT

NATURE DU SOL	COEFFICIENT DE RESISTANCE AU ROULEMENT
Revêtement routier dur, sans pénétration des pneus (ciment, macadam)	20 kg / tonne ou 2 %
Sol ferme cédant légèrement sous le poids du véhicule. Empierrement de gravier	32,5 kg / tonne ou 3 %
Route et piste à sol stabilisé cédant sous le poids du véhicule. Béton d'argile (pneus enfoncées : 2 à 3 cm)	50 kg / tonne ou 5 %
Piste en terre molle non stabilisée (pénétration 10 à 15 cm)	75 kg / tonne ou 7,5 %
Sol boueux ou sablonneux	100 à 200 kg / tonne 10 à 20 %

Pour une charrette chargée, le " poids sur roues" de la formule sera composé par le poids de la charrette (Tare) et le poids de la charge utile (poids net), le tout exprimé en tonne. La résistance au roulement est à son tour influencée par la pente. En effet, la pesanteur tend à ralentir un véhicule gravissant une pente et à accélérer la vitesse d'un véhicule descendant une pente. **L'action de la pesanteur sur un véhicule qui gravit une pente s'appelle la " résistance due à la pente"(R.P).** Elle s'appelle "aide due à la pente"(A.P). L'action de la pesanteur est estimée être égale à 10 kg/tonne/1e pourcentage de la pente dans le sens de déplacement. Cela a pour conséquence qu'en pente, la formule soit :

$R.P : (Pc + Pch) \times R.P \text{ ou } A.P \text{ selon qu'on monte ou qu'on descend}$

***Pc* : poids de la charrette en tonne**

Pch : poids du chargement en tonne

R.P : résistance due à la pente = 10kg/tonne/% pente

A.P : aide à la pente = 10 kg/tonne/% pente

Compte tenu de ce qui précède, la résistance totale à calculer, en montant, sera égale à :

$R_t : R.R + R.P.$ En descente, la formule devient **$R_t : R.R - A.P$**

En terrain plat, la résistance totale est, uniquement, la *résistance au roulement* que l'on calcule comme dit précédemment. Outre ce qui précède, il faut savoir *qu'en cas de travail avec les machines de travail du sol*, le sol oppose une résistance dite *résistance spécifique*, laquelle est estimée à :

28 kg / dm² sur une terre sableuse
63 à 84 kg/dm² sur une terre argileuse moyenne
112 kg/dm² sur une terre argileuse lourde.

On tient compte de cette résistance spécifique dans le calcul de la puissance de traction en cas de travaux du sol tels que les labours et les façons superficielles.

EXEMPLE : Puissance à la barre

Données

Calculer la puissance nécessaire pour effectuer avec une paire de bœufs pesant chacun 250 kg avec une charrue trisoc, un labour de 20 cm de profondeur, 25 cm de largeur dans une terre de moyenne résistance (Résistance spécifique 60 kg/dm²) effort nominal individuel 400 kg, vitesse de travail 6,5 km par heure.

Solution

- section de labour : 2,0dm x 2,5 dm x 3 = 15 dm²
- effort de traction : 60 kg/dm² x 15 dm² = 900 kg
- vitesse de travail en m/sec : 6500 m : 3600 = 1,80 m/sec

- puissance nécessaire : $\frac{900 \text{ kg} \times 1,80 \text{ m/sec}}{75} = 21,6 \text{ ch}$

- effort de traction fourni par une paire de bœufs :
400 kg x 2 x 0,93 = 744 kg

- puissance disponible : $\frac{744 \text{ kg} \times 1,80 \text{ m/sec}}{75} = 17,8 \text{ ch}$

- différence de puissance : 21,6 ch - 17,8 ch = 3,8 ch.

Conclusion : Cette paire de bœufs n'est pas capable d'effectuer un tel travail.

1.2.3. Technologie mécanique

En République Démocratique du Congo, très peu des travaux sont effectués en traction motorisée. Nous présentons dans les pages suivantes les grandes questions soulevées en rapport avec cette technologie.

1.2.3.1. Situation mondiale des équipements agricoles

En 1994, plus de 80% des 26 millions de tracteurs agricoles étaient utilisés en Amérique du Nord, en Europe et en Asie (Tableau 5). L'Afrique et l'Amérique du Sud n'en comptaient que 1,7 millions (6 %), comme illustré au tableau ci-dessous.

TABLEAU 5 : EFFECTIFS MONDIAUX DE TRACTEURS

Zone concernée	Milliers de tracteurs				
	1974-1976	1980	1985	1990	1994
Europe	7.190	8.465	9.374	10.398	10.150
Amérique du Nord	5.936	5.621	5.600	5.814	5.800
Asie	1.895	3.550	4.657	5.614	5.811
Ex -Urss	2.333	2.563	2.798	2.666	2.023
Amérique du Sud	575	660	1.156	1.125	1.220
Afrique	402	455	509	545	540
Océanie	429	429	410	400	540
Total mondial	18768	21742	24504	26.562	25.945

Source: FAO Yearbook, 1975 Vol 29, 1980 Vol 39, 1990 Vol 44, 1995 vol 49

En Afrique, les tracteurs, à 2 ou 4 roues motrices, sont essentiellement des modèles standard importés, parfois assemblés, mais rarement conçus localement. Leur nombre a plus que doublé en Afrique du Nord en 30 ans. Leurs effectifs augmentent peu en Afrique subsaharienne, et diminuent en Afrique du Sud (Tableau 6)

TABLEAU 6 : EFFECTIFS DE TRACTEURS EN AFRIQUE

Milliers de tracteurs	1975	1980	1985	1990	
		1994			
Total Afrique	402	455	509	545	540
Afrique du Nord	118	152	191	246	280
Afrique du Sud	177	108	184	168	130
Afrique subsaharienne	107	123	134	131	130

Source: FAO Yearbook, 1975 Vol 29, 1980 Vol 39, 1990 Vol 44, 1995 vol 49

Les tracteurs dits de *motorisation intermédiaire* de faible puissance (25 à 30 ch) sont peu répandus. Environ 1.400 unités sont utilisées essentiellement en Côte d'Ivoire, au Cameroun et au Mali.

Les machines de récolte automotrices utilisées en Afrique, sont principalement, des moissonneuses-batteuses (40 000 unités en 1994), dont 90 % sont utilisées en Afrique du Nord et en Afrique du Sud.

Le motoculteur, peu utilisés dans les pays africains, n'est pas pris en compte dans cette série de statistiques. Par contre, l'emploi de moteurs sur des machines utilisées à poste fixe, ou portées à dos d'homme, est très développé. Leur utilisation est facilitée par la diffusion de cellules autonomes, compactes et légères, faciles à déplacer tant pour les travaux au champ (irrigation, broyage...). Le nombre de moteurs ainsi utilisés est nettement supérieur au nombre de tracteurs. A titre d'exemple, au Sénégal, il y a environ 500 tracteurs et plus de 5.000 moteurs utilisés à poste fixe pour le pompage, le battage, le décorticage et la mouture.

En Afrique subsaharienne, la motorisation concerne, à des degrés variables, les travaux de défrichage et d'aménagement des terres, plusieurs pratiques culturales, la récolte, les travaux post-récolte, les apports en eau, en éléments fertilisants et en produits de traitements phytosanitaires et les transports.

Selon la banque mondiale (1987), les opérations culturales motorisées peuvent être regroupées en deux catégories :

- **les opérations à la forte intensité d'énergie**, exigeant de la puissance (Exemple : le broyage, la mouture, le transport, les préparations du sol, le battage)
- **les opérations à forte technicité** et faisant d'avantage appel au jugement de l'homme (Exemple : le semis, le désherbage, les contrôles phytosanitaires, le vannage et la récolte de produits fragiles comme les fruits.)

Les raisons économiques expliquent la tendance à motoriser, en premier lieu, les opérations les plus pénibles, exigeant les fortes puissances.

La motorisation des opérations culturales s'est développée après la fin de la seconde guerre mondiale grâce aux interventions de projets, de structures publiques et parapubliques, des fermes d'Etat, et des complexes agro-industriels. Les projets et structures étatiques ont subi de nombreux revers techniques et économiques, mais ont continué jusque dans les années 80, dans bon nombre de pays, à réaliser de travaux pour leur compte ou pour celui des agriculteurs.

Depuis une trentaine d'années, avec la politique d'ajustement structurel et le désengagement des Etats, la motorisation a été reprise par les entrepreneurs fournissant des prestations de service et par des producteurs pour leurs exploitations, mais sans entraîner une évolution sensible du parc (Tableau 7)

TABLEAU 7 : PAYS D'AFRIQUE SUBSAHARIENNE COMPORTANT PLUS DE 2 000 TRACTEURS

Pays	1975	1980	1985	1990	1994
Zimbabwe	19 000	20 500	20 300	20 400	19 500
Kenya	6 063	6 600	7 000	14 000	14 000
Nigeria	7 500	8 800	10 300	11 500	11 900
Angola	9 267	10 400	10 250	10 290	10 300
Soudan	8 767	11 600	18 000	9 182	10 500
Tanzanie	18 100	18 720	18 550	6 800	6 600
Botswana	1 850	2 200	2 155	5 900	6 000
Zambie	4 500	4 650	4 380	5 900	6 000
Mozambique	5 483	5 820	5 750	5 750	5 750
Ouganda	1 710	2 200	3 650	4 500	4 700
Ghana	3 183	3 550	3 750	4 000	4 100
Namibie	2 300	2 600	2 800	3 050	3 150
Ethiopie	3 600	4 150	3 900	3 900	3 000
Cote	2 133	3 200	3 300	3 550	3 700

d'Ivoire					
Swaziland	2 094	2 710	3 800	3 530	4 040
Madagascar	2 400	2 680	2 780	2 890	2 920
R.D.Congo	1 400	2 000	2 250	2 400	2 400

Source: FAO Yearbook, 1975 Vol 29, 1980 Vol 39, 1990 Vol 44, 1995 vol 49

En culture tropicale, la motorisation concerne principalement les travaux du sol. Les autres façons culturales sont réalisées manuellement et en traction animale. Les combinaisons d'opérations mécanisées et manuelles, ainsi que l'utilisation à poste fixe de quelques matériels spécifiques comme la batteuse à mil, les égreneuses à maïs ou les décortiqueuses à riz, est originale.

La mécanisation des petites unités de production agricoles implique la mise en route des structures de conseils et d'informations des exploitants agricoles.

Dans les structures de gestion des unités de matériels motorisés, les tâches des responsables chargés de la mécanisation étaient auparavant très techniques (organisation de la maintenance et des chantiers, choix des matériels) et les aspects économiques étaient rarement traités. Ces structures ont disparu progressivement.

Des entrepreneurs de travaux agricoles, des producteurs et des organisations paysannes deviennent aujourd'hui les principaux utilisateurs de la mécanisation.

Sur des exploitations de plus grande taille et de structures divers, la tâche principale des responsables de la mécanisation devient le conseil, aussi bien sur le choix des équipements que sur le mode d'intervention et de gestion. Il est nécessaire de connaître les effets des travaux mécanisés dans des conditions diverses d'utilisation.

Dans le pays du sud de Sahara, l'acquisition de chaînes motorisées complètes est souvent hors de portée technique et financière des agriculteurs. Le travail à l'entreprise ou en coopérative permet aux exploitations de petite taille d'y avoir accès, au moins pour les tâches les plus pénibles.

Pour étudier les besoins de mécanisation d'une communauté, il faut porter sa réflexion sur plusieurs niveaux se rapportant aux unités utilisatrices, les machines et les cultures.

Il est nécessaire de préciser, dans un premier temps, les conditions générales pour que le recours à la motorisation soit intéressant. Pour cela, la prise en compte de l'environnement technico-économique, des équipements disponibles et des compétences des utilisateurs est indispensable. Il faut s'informer des mesures précises en matière de politiques agricoles sur les équipements et les produits, des moyens et des infrastructures d'entretien et de maintenance permettant l'utilisation et la reproductibilité de cette motorisation ; et enfin des programmes de formation. Le suivi et l'évaluation des solutions retenues font partie des tâches importantes de ces services utiles pour améliorer l'efficacité du conseil.

1.2.3.2. Choix de la motorisation agricole d'un pays.

A l'échelle d'un pays, le choix de la motorisation agricole pose des problèmes qui dépassent largement le cadre du choix technique et du coût des équipements. Il s'agit de :

- choisir les formules les plus appropriées pour atteindre les objectifs économiques de développement,
- prendre en compte l'environnement dans lequel sera utilisée cette motorisation,
- évaluer l'intérêt de son introduction,
- étudier les conditions de sa mise en œuvre et
- de proposer les niveaux de puissances et les équipements qui semblent les plus adaptés.

A. L'appréciation de l'Environnement de la motorisation agricole à choisir

L'appréciation de l'Environnement de la motorisation, tient compte de quatre aspects importants :

- l'approvisionnement en équipements,
- les infrastructures,
- les moyens financiers et la compétence des différents intervenants.

Les possibilités d'approvisionnement en équipements varient énormément suivant les pays. Rares sont les pays africains subsahariens qui disposent d'unités de fabrication industrielle des matériels agricoles. Quelques-uns possèdent des unités de montage ou d'assemblage pour

un nombre restreint de matériels. Les pays Africains sont donc fortement dépendants des conditions d'approvisionnement en machines et pièces détachées (problèmes de devises, de délais d'acheminement, de disparité des marques et des modèles). Le marché de l'occasion, issu du parc de réforme des matériels des pays industrialisés, offre de nouvelles perspectives, mais les circuits ne sont pas encore très organisés et ne permettent pas le plus souvent, le contrôle de qualité.

Les infrastructures d'entretien et de réparations s'organisent assez rapidement aux abords des grands centres urbains et commerciaux, mais restent quasi inexistantes dans les zones rurales éloignées.

La maintenance est fortement pénalisée par l'impossibilité de s'approvisionner rapidement en pièces détachées d'usure courante qui sont importées à la demande. Elle est rendue difficile par le manque d'infrastructures techniques de qualité pour les réparations et les contrôles ; et par la rareté ou le manque de compétence des mécaniciens. Ces derniers sont souvent contraints de procéder à du bricolage avec du matériel de récupération.

La motorisation coûte relativement cher à l'achat et en fonctionnement. Le recourt aux emprunts est fréquent. Des mesures d'accompagnement entier de fiscalité et de crédit favorisent l'introduction des équipements. Dans certaines situations ; les producteurs sont contraints de réaliser des prestations de service pour les liquidités nécessaires au fonctionnement.

La compétence du personnel chargé d'utiliser et de gérer des matériels aussi coûteux est impérative et trop souvent négligée.

Pour les utilisateurs, la formation s'opère le plus souvent «sur le tas » par approche progressive. Trop souvent, cette formation insuffisante se traduit par une mauvaise utilisation pénalisant la qualité du travail ou du produit ; le rendement et la durée de vie de la machine et finalement génère un coût de fonctionnement exagérément élevé et une diminution des recettes.

Les compétences sont différentes pour les mécaniciens, les chauffeurs et les responsables ; mais elles doivent se compléter.

Les mécaniciens ; chargés de l'entretien et des réparations ; doivent se compléter. Les mécaniciens chargés de l'entretien et des réparations doivent posséder un minimum de notions sur les conditions d'utilisation et les différents réglages des machines pour en assurer le bon fonctionnement.

Les chauffeurs doivent connaître la conduite de leur machine avec leurs matériels d'accompagnement ainsi que tous les réglages et les entretiens courants.

Les responsables, qu'ils soient propriétaires, présidents ou gestionnaires d'organisations paysannes, doivent avoir des notions sur la conduite et l'entretien des matériels pour être en mesure de dialoguer avec les chauffeurs et les réparateurs. Ils doivent aussi posséder un minimum de connaissances sur les conditions d'intervention pour apprécier, contrôler et faire rectifier les réglages permettant d'améliorer la qualité du travail et la rentabilité de la machine.

Généralement, on se préoccupe peu des responsabilités des programmes de formation technique, et pourtant, ce sont souvent eux qui décident de la nécessité ou non d'effectuer des entretiens. Ceci suppose l'organisation de formations pratiques décentralisées dans les conditions d'utilisation des matériels.

En regard des sommes importantes engagées dans l'acquisition des matériels agricoles, les responsables doivent recevoir des formations de base *en gestion* :

(- crédit ; - comptabilité, - facturation, - calculs des coûts...) *en programmation et organisation des chantiers* : (-choix des clients, - contrats, - connaissances des performances). Ces besoins ont été mis en exergue avec le désengagement des Etats et l'acquisition de matériels par des paysans et des entrepreneurs, et il existe peu des programmes de formation approprié pour y répondre. Ces compétences en programmation et organisation des chantiers sont indispensables pour avoir une bonne maîtrise technique de la motorisation, préalable indispensable à la maîtrise économique.

B. Les conditions de la mise en œuvre de la mécanisation agricole

Les conditions de la mise en œuvre de la mécanisation agricole sont déterminées par plusieurs éléments parmi lesquels le type de mécanisation à adopter. De plus, le développement de la mécanisation, en question implique la maîtrise de :

- la demande des produits agricoles,
- l'offre et les coûts de la main d'œuvre,
- le volume et le coût des capitaux disponibles et
- le coût d'exploitation des machines.

Il est fréquent que les choix retenus combinent l'utilisation de divers types de mécanisation.

Les principaux facteurs préalables à l'utilisation de la motorisation agricole sont déterminés par le niveau de mécanisation atteint. Par exemple : le défrichement et le dessouchage sont indispensables à l'utilisation des tracteurs.

En effet, contrairement à la traction animale, les tracteurs ne peuvent se satisfaire d'un dessouchage partiel, sous peine de détérioration rapide des matériels. C'est pourquoi l'utilisation du tracteur concerne principalement les savanes herbeuses, fonds de vallées et les plaines inondables dépourvues des souches.

La motorisation permet généralement d'augmenter de façon importante la productivité du travail ; elle répond à des besoins d'augmentation de la production ou des surfaces cultivées, de remplacement ou de complément d'une main-d'œuvre insuffisante ou non disponible. L'avantage le plus tangible de l'utilisation de nouvelles machines est de réduire le coût de production en substituant la nouvelle technique à la main-d'œuvre, à des animaux de trait ou à de vieilles machines.

Selon la banque mondiale (1987), les principaux facteurs qui influent sur l'utilisation de tracteurs sont :

- l'intensification de l'agriculture, souvent associée à une extension des superficies irriguées ;
- la croissance des capitaux disponibles et l'amélioration des routes.

Les conditions favorables à l'utilisation de la motorisation agricole évoluent parfois très rapidement. Dans le conseil en équipement, il faut donc tenir compte des perspectives d'évolution, au moins, sur les durées prévisibles d'amortissement. Les différents cas de motorisation d'opérations culturales sont les suivants :

- simple substitution de la machine à la main d'œuvre sans changement de technique
- emploi de machine nécessitant un changement comme la récolte de l'arachide ;
- emploi d'une chaîne de machines interdépendantes utilisées pour des opérations culturales différentes comme le semis, l'entretien et la récolte à écartement constant entre rang.

Motoriser une succession de travaux agricoles signifie que le choix d'un type de motorisation pour une opération donnée est lié à l'ensemble des opérations mécanisées du système étudié. Cela implique, d'une part, l'utilisation d'équipements adaptés au type et à la puissance de la cellule motrice, et d'autre part, la nécessité d'exécuter les opérations avec méthode et avec du matériel approprié.

C. Les facteurs et les conditions du choix des matériels

Les facteurs et les conditions du choix des matériels sont liés au contexte déterminé de mécanisation choisi. Celui qui est considéré comme représentant une solution motorisée adaptée à l'environnement économique et social, permettant de satisfaire les exigences de production, des superficies à mettre en culture, des calendriers culturaux, du parcellaire, des variétés cultivées et des conditions de transformation post récolte.

Globalement, les choix techniques, fortement conditionnés par les contraintes du milieu et de la plante s'articule sur deux axes : les niveaux des puissances et les type de motorisation.

Les économies d'échelle favorisaient autrefois le choix de gros matériels. Seules les grandes exploitations pouvaient en acquérir.

Actuellement, grâce aux innovations techniques et aux possibilités de localisation ; la motorisation peut aussi s'appliquer aux petites exploitations, soit partiellement pour une opération culturale, soit quasi totalement pour la majorité des opérations.

La mécanisation agricole doit tenir compte du milieu naturel où elle est pratiquée et du type de plantes à mettre en culture.

Le milieu naturel concerne les caractéristiques fondamentales du climat qui sont essentiellement : la pluviométrie, la température et la durée du jour. Ces éléments climatiques déterminent la carte des spéculations agricoles à l'échelle d'un pays ou du globe. Selon les cas, les excès de l'un ou de l'autre de ces paramètres peuvent être corrigés. La réalisation d'aménagements en casiers hydro agricoles et les dispositifs d'irrigation et de drainage en sont des exemples. Des ajustements du calendrier agricole, une sélection variétale et l'utilisation de matériels agricoles adaptés sont souvent nécessaires.

Le sol est plus déterminant selon les cultures. La motorisation, grâce à la puissance des tracteurs disponibles et à la grande largeur des engins d'accompagnement tractés ou portés, permet d'exécuter les opérations

très rapidement et à une plus grande profondeur, mais ne se traduit pas forcément par un meilleur travail du sol.

Une mauvaise utilisation de la motorisation dans certaines terres susceptibles d'érosion peut avoir de graves conséquences. Heureusement, certaines contraintes liées au sol pourront être levées par des aménagements antiérosifs ou de mise en défens, ou par le calage du calendrier agricole (choix des périodes favorables d'intervention), et par la mise en œuvre de façons culturales mécanisées variées.

La récolte mécanique requiert des variétés à maturité relativement groupée. Elle est facilitée par les variétés qui ne versent pas ou peu. Le choix par les producteurs des outils et des machines est un compromis entre les coûts, la rapidité d'exécution, la qualité et l'efficacité du travail et, éventuellement, la polyvalence (utilisation sur différentes spéculations).

Le milieu et la plante déterminent donc le calendrier de travail pendant lequel les opérations motorisées sont possibles. Il s'agit du calage des dates d'interventions sur le terrain, sur le type d'assolement ou de rotation, sur les superficies cultivées et sur l'emploi du temps du producteur. Les contraintes de respect du calendrier cultural sont accentuées avec le double, voire la triple culture sur une même parcelle. Les goulots d'étranglement sont résolus ou atténués par la diminution des temps de travaux due à une motorisation plus puissante et à l'utilisation d'outils adaptés, et par la réduction des façons culturales au minimum, par exemple des semis directs ou des aménagements temporaires.

En rapport avec le contexte socio-économique, il importe de savoir que les choix adaptés techniquement doivent être rentables. Trois éléments économiques sont fondamentaux :

- la valeur marchande des produits,
- le coût des opérations motorisées et celui de la main-d'œuvre.

En général, la motorisation se développe avec les hausses du coût de la main-d'œuvre. Mais il est nécessaire que le prix de vente de la production soit suffisamment élevé pour favoriser l'investissement et couvrir les différentes charges d'exploitation à surface cultivée égale.

La diffusion de la motorisation est freinée, généralement, dans les pays en développement par la faiblesse des revenus des exploitants. Elle doit

viser la réduction des coûts de production et l'amélioration de la productivité du travail.

Les choix du type de mécanisation agricole doivent tenir compte des modes d'utilisation des machines qui diffèrent surtout en fonction de la personne physique ou de la morale du propriétaire de matériels. En petite exploitation agricole, le matériel appartient en général à l'exploitant mais il peut être aussi prêté ou loué.

La motorisation de la transformation des produits agricoles existe en milieu rural (investissement des paysans ou d'organisations villageoises) mais la majorité des équipements se trouvent dans les centres urbains et sont la propriété de fonctionnaires, de commerçants à des particuliers, paysans ou non, mais aussi à des collectivités (organisation de producteurs) et à des entreprises.

De nombreux projets d'utilisation en commun de matériels, de type Cuma (coopératives d'utilisation de matériels agricoles en commun) mais appelés, suivant les zones, groupements mécanisés » ou groupement d'intérêts économiques, ont été mis en route mais n'ont pas eu le développement attendu, l'utilisation en commun de matériels agricoles peut s'avérer intéressante dans certaines situations.

D. Choix des chaînes d'équipement,

Le choix des chaînes d'équipement tient compte de la puissance des tracteurs à choisir et celle de sa prise de force. En effet, cette notion est de plus en plus employée avec la multiplicité des outils animés (Houes rotatives, semoirs pneumatiques, batteuses...).

Il faut savoir néanmoins que les puissances annoncées par les constructeurs (SAE, DIN, OCDE) sont presque toujours des puissances au moteur, en général 10% plus élevées que les puissances à la prise de force. La puissance SAE est supérieure à la puissance DIN, elle-même supérieure à la puissance OCDE.

Pour les outils tractés et ainsi que cela a été dit ci-haut, le facteur limitant est **l'effort de traction. Celui-ci dépend notamment du poids du tracteur, de l'adhérence et du nombre de roues motrices.** En terrain agricole, l'effort de traction ne représente en moyenne que 60% du poids d'un tracteur à deux roues motrices. Ce faible rendement et la réduction des poids des tracteurs expliquent le développement de l'utilisation des outils entraînés par la prise de force.

En travail de sol, la puissance requise par un même matériel peut varier dans de grandes proportions suivant les conditions d'utilisation : nature

du sol, humidité, état de surface, réglages des machines... De plus, la puissance du tracteur réellement disponible en fonction des outils utilisés, des conditions d'adhérence et des pertes dans les transmissions. Aussi, les tableaux 4 et 9 ne donnent que des ordres de grandeur. La largeur de travail et le nombre d'éléments annoncés dans une catégorie de la puissance doivent être ajustés aux conditions de travail spécifique à chaque cas. Il ne peut y avoir de recette type utilisable partout et il appartient aux services compétents dans le domaine de la mécanisation de proposer des matériels uniquement après une analyse détaillée des conditions dans lesquelles ils seront utilisés.

Les critères techniques de choix de la puissance sont liés aux conditions d'utilisation des équipements habituellement rencontrés, quatre catégories de puissance sont arbitrairement retenues :

- moins de 30 ch,
- de 30 à 60,
- de 60 à 90ch, et
- plus de 90 ch.

Les tracteurs, les motoculteurs et les autos motoculteurs de moins de 30 ch. (22 KW) correspondent à la motorisation employée en riziculture en Asie. Ils n'existent plus dans les pays développés que pour les matériels d'espaces verts, de maraîchage et de viticulture. Des tentatives ont cependant été faites avec des tracteurs de faible puissance dans la zone cotonniers d'Afrique francophone.

Les tracteurs de 30 à 60 ch (22 à 44 KW) sont en général des tracteurs à deux roues motrices. Semis, épandages d'engrais, traitement ... ils disparaissent de plus en plus ? Dans les pays en développement, ces tracteurs servent habituellement au transport. Les tracteurs et automoteurs de 60 à 90 ch (44 à 66 KW) sont les mieux représentés dans les exploitations moyennes des pays industrialisés. Les modèles à quatre roues motrices sont les plus nombreuses.

Dans les pays en développement, ils sont la propriété d'entrepreneurs de travaux agricoles et de certaines grandes exploitations. Ils réalisent les travaux du sol et parfois les transports quand des remorques adaptées existent.

Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses, des pulvérisateurs, des récolteuses à maïs (corn pickers). Seules les moissonneuses-batteuses sont utilisées de façon significative dans les pays en développement.

Les tracteurs de plus de 90 ch. (66 KW) sont répandus dans les entreprises de travaux agricoles des pays industrialisés et dans les grandes exploitations. Dans les pays en développement, ils appartiennent à quelques grosses entreprises de travaux agricoles et aux agro-industries. Ils servent principalement aux travaux d'aménagement, aux travaux du sol et aux transports. Les automoteurs sont des moissonneuses-batteuses, des récolteuses chargeuses, par exemple pour la canne à sucre.

Chaque fois que c'est possible, on a intérêt à utiliser des « équipements que l'on peut adapter aux conditions de travail, par exemple en faisant varier la largeur de travail de certains outils. On peut par exemple passer de 3 à 2 socs sur une charrue ou de 6 à 4 éléments sur un semoir. Pour utiliser un même matériel avec des tracteurs différents, les systèmes d'attelage et les vitesses de prise de force doivent être compatibles.

En effet, il existe trois catégories de systèmes d'attelage :

- pour les petites puissances jusqu'à 45-50 ch. (33-36 KW),
- pour les puissances moyennes jusqu'à 90 ch. (66 KW) environ
- pour les fortes puissances supérieures à 90ch (66 KW) Ces derniers sont les mieux représentés dans les exploitations moyennes des pays industriels.

Actuellement, les modèles à quatre roues motrices sont les plus nombreux. Les tracteurs à plus de 90 ch(66 KW) sont répandus dans les entreprises de travaux agricoles des pays industrialisés et dans les grandes exploitations agricoles des pays en développement.

Chaque fois que c'est possible, tenir compte de la capacité du relevage ; c'est-à-dire du poids maximum autorisé. Il faut chercher des prises de force normalisées ; c'est-à-dire s'assurer de la position (haute ou basse), des dimensions et de la vitesse de rotation. Pour une vitesse de 540 tours/minute, la prise de force compte 6 cannelures ; elle a un diamètre de 34 mm pour un tracteur de moins de 45 ch. (33 KW) et de 45 mm dans les autres cas. Pour une vitesse de 1 000 tours/minutes, la prise de force compte 21 cannelures et a un diamètre de 34 mm.

Par ailleurs, les matériels doivent être livrés montés et en état de marche avec les livrets de conduite et d'entretien ; ce qui permettra de s'assurer de leur bon fonctionnement. Une meilleure maîtrise des réglages ; surtout dans le cas d'une première introduction.

Dans le choix des chaînes d'équipements, il importe de préciser quelques particularités.

En effet, les matériels à retenir doivent avoir une largeur de travail compatible avec celle des autres machines. C'est le cas d'une bineuse sarcluse utilisée après un semis en ligne. Avec la largeur de travail de 6 rangs, la bineuse devra permettre de travailler en un seul passage 6,3,2 ou 1 rang, C'est-à-dire : un nombre de rangs égal au nombre de rangs semés au semoir, ou un sous-multiple. Il faut choisir des matériels travaillant sur une largeur au moins égale à celle du tracteur pour éviter de rouler sur un sol déjà travaillé.

Avec les grandes puissances et pour les matériels qui exigent technicité et précision, tels que les semoirs en ligne et les bineuses, il est parfois plus intéressant de limiter le nombre de rangs et augmenter la vitesse que de prévoir une largeur plus grandes à vitesse réduite. Dans certains chantiers, il est même parfois indiqué d'employer un tracteur moins puissant. C'est pourquoi les capacités théoriques évoquées dans les tableaux 8 et 13 pour chaque chaîne de mécanisation doivent être adaptées aux conditions locales.

Une attention particulière doit être accordée aux matériels dont l'utilisation inconsidérée risque d'augmenter les phénomènes érosifs, tels les cultivateurs rotatifs et les pulvérisateurs à disques. Les sols à textures légère, dénudé ou en pente sont particulièrement sensibles. Il est souvent recommandé de laisser les résidus végétaux à la surface du sol, mais cela pose des problèmes pour les semis - Il faut alors utiliser le semoir à disque ouvert - et pour la lutte mécanique contre les adventices.

On préfère, dans ce cas, les outils à dents, comme le chisel ou le cultivateur, qui permettent aussi de détruire les semelles. Les semelles sont des horions durcies en sol humide provoqué par les outils à disques, à lames rotatives ou par des charrues.

Dans les pays tropicaux, les conditions climatiques n'autorisent le plus souvent qu'une période utile réduite pour la préparation du sol et le semis. Il faut travailler vite en utilisant, soit des outils à dents larges, à grande vitesse dont le travail est moins profond, moins retourné avec une charrue, soit des outils combinés qui permettent de réduire le nombre de passage, par exemple le travail du sol et le semis. Dans certaines situations, il est possible de travailler le sol en sec avec des dents. Ceci permet d'étaler la période de travaux.

Exemple de chaîne de mécanisation :

-

Les tableaux 8 à 13 ne présentent pas l'ensemble de caractéristiques, options et accessoires de matériels. Selon les machines, seules une ou deux caractéristiques principales liées à la puissance sont indiquées : la largeur du travail, le nombre des pièces travaillantes, le volume. Pour clarifier la présentation, les matériels ont été regroupés par grandes opérations culturales : nettoyage des parcelles, préparation du sol, semis, repiquage, fertilisation, entretien de cultures, récolte et battage, transport.

a) Nettoyage des parcelles

Par nettoyage d'une parcelle on entend le broyage et l'enfouissement de matières organiques aux conditions illustrées au tableau ci-dessous :

TABLEAU 8 : MATERIELS DE NETTOYAGE DES PARCELLES

Opérations	Matériel	< 30 ch	30 à 60 ch	60 à 90 ch	> 90 ch
Broyage	Rotobroyeur	Porté léger < 1 m	Porté léger 1 à 1,5 m	Porté 1,5 à 2 m	Porté > 2m
	Gyrobroyeur		Porté léger 1 X 1,5 m	Porté double lame 1,5 à 2 m	Porté 2 X 2 lames > 2m
Enfouissement des résidus	Pulvérisateur		Tandem 12/16 disques à 460 mm	Offset 16/20 disques à 560 mm	Offset > 20 disques à 610 mm
	Cultivateur Rotatif	Porté < 1,2m	Porté 1 à 1,5 m	Porté 1,5 à 2,5 m	Porté > 2,5 m

b) **Les préparations du sol incluent le sous-solage**, les ameublissements en conditions pluviales, en sol ressuyé (culture irriguée) et le malaxage ou le pudding sur sol boueux, comme repris au tableau ci-dessous.

TABLEAU 9. MATERIELS DES PREPARATIONS DU SOL :

OPERATION	MATERIEL	PUISSANCE REQUISE

		<30 ch	30 à 60 ch	60 à 90 ch	>90 ch	
Sous-solage	sous-soleuse	Portée 1 corps	portée 1 à 3 corps	Portée >3 corps		
Ameublement en conditions pluviales	Charrue	1 disque 660 mm	2 à 4 disques 660 mm	3à4 disques 660/710 mm	>disques	
	Charrue	1 soc 10''	2à4 disques 10 à 12''	3 à 4 disques 12 à 14''	>4 socs 12 à 16''	
	Pulvériseur		semi-porté 12/16 disques 460 mm	semi-porté 16/20 disques 560 mm	semi-porté >20 disques 610 mm	
	Cultivateur	Porté 3 à 5 dents	Porté 3 à 7 dents	Porté 7 à 12 dents	Porté >12 dents	
	Chisel	Porté 2 à 3 dents	Porté 3 à 5 dents	Porté 5 à 6 dents	Porté > 6 dents	
	Herse	Porté 2 à 3 m	Porté 3 à 5 m	Porté >5 m	Porté > 5 m	
	Roues squelettes					
	Cultivateur Rotatif	Porté 1 m	Porté 1 à 1,5 m	Porté 1,5 à 2 m	Porté >2 m	
	Rouleau Croskill	Trainé 2 à 3 m	Trainé 3 à 5 m	Trainé >5 m	Trainé >5 m	

Ameublissement sur sol ressuyé (culture irriguée)	Cultivateur Rotatif	Porté 1 m	Porté 1 à 1,5 m	Porté 1,5 à 2 m	Porté >2 m
	Rouleau Croskill	Trainé 2 à 3 m	Trainé 3 à 5 m	Trainé >5 m	Trainé >5 m
Malaxage ou puddlage sur sol boueux	Houe rotative	Roues cages			
		Porté <1,5 m	Porté 1,5 à 2 m	Porté 2 à 2,5 m	Porté >2,5 m
	Herse « espagnole »	Porté < 2m	Porté 2 à 3 m	Porté 3 à 5 m	

c) Semis, le repiquage et la fertilisation

Les matériels de semis sont très variés. Ils sont adaptés à diverses conditions du sol et à diverses techniques de mise en place de cultures. Seul le grand type des semoirs sont présentés dans le tableaux dix. C'est très nettement insuffisant pour choisir un semoir. En effet, il faut accorder une très grande importance aux organes d'enterrage et de recouvrement, qui sont très différents selon la qualité de la prestation du lit de semences.

TABLEAU 10. MATERIEL DE SEMIS, REPIQUAGE ET D'EPANDAGE D'ENGRAIS

Opération	Matériel	<30 ch	30 à 60 ch	60 à 90 ch	>90 ch
Repiquage sur sol boueux	Repiqueuse à riz	Portée ou Automotric e 2 à 8 rangs	Portée ou Automotric e 4 à 8 rangs		
Semis	Semoir en ligne	Porté 1m	Porté 2 à 4m	Porté 4 à 6m	Porté ou semi-porté >6m

	Semoir Centrifuge	porté 200 l <12m	porté 200 à 400 l < 16m	Porté ou traîne 400 à 1000l <24 m	Trainé ou automotrice > 1000 l < 24 m
	Semoir Monograine	porté 2 à 4 rangs	porté 2 à 6 rangs	porté 4 à 10 rangs	Porté ou Semi-porté
	Semis direct			porté 3 à 4 m	porté > 4 m
	Matériel Combiné			porté 3 à 4 m	porté > 4 m
	Travail du sol et semis			Porté 3 à 4 m	Porté > 4 m
Plantation	Planteuse d'igname		Porté 1 rang	Porté 2 rangs	Porté ou 3 rangs
	Planteuse des boutures Manioc, canne à sucre		Porté 1 rang	Porté 2 à 3 rangs	Porté ou >3 rangs
	Agrumes avec tarière	à 35 cm	porté à35-40 cm	porté à 40-80 cm	porté à 40-80 cm
Epandage Engrais	Epandeur en nappe	Train 2 m	Trainé 2 à 4 m	Trainé > 4m	Trainé 4m
	Epandeur centrifuge	porté 200 l <6 m	porté 200 à 400 l < 8 m	porté 400 à 1000 l < 12 m	Semi-porté >1000 l < 24 m
	Epandeur pneumatique	porté 200 l <12 m	porté 200 à 400 l < 16 m	Porté ou Semi-porté 400 à 1000 l < 24 m	Semi-porté >1000 l < 24 m
Localisateur			Adaptable sur semoir		

d) *Entretien de culture*

Avec les tracteurs conventionnels, l'utilisation du matériel de désherbage est rapidement limitée par la hauteur de végétation. Les tracteurs enjambeurs et les automoteurs qui ont une garde au sol supérieur peuvent intervenir sur une végétation de plus grande taille. Le

buttage est pratiqué sur certaines cultures comme le cotonnier ; le maïs et la canne à sucre

TABLEAU 11 : MATERIEL D'ENTRETIEN DES CULTURES

Opération	Matériel	<30 ch	30 à 60 ch	60 à 90 ch	>90 ch
Désherbage mécanique	Sarclieur roulant dans la ligne	Portée 3 à 5 rangs			
	Bineuse à dents ou rotative	Portée 2 à 4 rangs	Portée 2 à 6 rangs	Portée 4 à 10 rangs	Portée > 10 rangs
	Buteuse Billonneuse	Portée 1 à 3 corps	Portée 2 à 5 corps	Portée 5 à 8 corps	Portée > 8 corps
Désherbage chimique	Pulvérisateur	Portée 200 à 300 l Rampe 6m	Portée 300 à 600 l 6 à 12 m	Portée Semi - porté 600 à 1000 l 12 à 24 m	Portée Semi - porté Automoteur > 1000 l > 20 m

e. Récolte et le battage

Dans le domaine de la récolte et du battage, il n'existe pas de matériels adaptés à la majorité des cultures comme pour le travail du sol.

De nombreuses machines de récolte sont spécifiques d'une ou de deux cultures. Beaucoup de modèles utilisés sont automoteurs. Les tracteurs sont utilisés principalement pour le transport et le chargement des produits récoltés.

Le choix des matériels de récolte doit tenir compte de l'organisation des chantiers.

En effet, ces matériels sont rarement utilisés seuls, mais en combinaison avec des matériels de chargement, de manutention et du transport. Les débits de récoltes et le conditionnement de produit, doivent être adaptés au chargeur et remorque utilisées. Par exemple, on choisira une moissonneuse batteuse avec ensacheur si le transport et le stockage sont prévus en sacs.

Les matériels de récolte et conditionnement de fourrages ne sont pas présentés dans les tableaux 12, car ils sont encore très peu rependus dans les pays en développement.

TABLEAU 12 : MATERIEL DE RECOLTE ET DE BATTAGE

Opération 90ch	Matériel	<30	30 à 60 ch	60 à 90 ch	>
Récolté céréales	Faucheuse	Automotrice ou portée 1m à 1,5m	Automotrice ou portée 1,5m à 3m	Automotrice ou traînée <2,5m	
	Faucheuse lisse	Automotrice ou portée 1m à 1,5m	Automotrice ou portée 1,5m à 3m	Automotrice ou traînée <2,5m	
	Moissonneuse	Automotrice	Automotrice	Automotrice	
Automotrice < 6m	Batteuse	<1m	<3m	<3 ,6m	
Récolte maïs automoteur	Cueilleur		Semi-porté	Semi-porté	
	Dépanouilleur (corn-picker)		1 rang	automoteur 2 à 4 rang	
>4 rang	Récolte		Semi-porté	Semi-porté	
automoteur	Egreneuse (corn-sheller)		1 rang	Automoteur 2 à 4 rang	>4
rang					

Récolte et automotrice	récolteuse			portée
Chargement rangs canne à sucre	andalouse			1 rang 1 à 2
	Chargeur			discontinu ou continu Porté ou automoteur
	Récolteuse chargeuse			
automotrice				
>200 ch				
Récolte arachide	Souleveuse	porté 1rang	porté 2 à 4 rangs	semi-porté 2 à 6 rang
	Arracheuse andaineuse	porté 1rang	porté 2 à 4 rangs	semi-porté 2 à 6 rang
	ramasseuse			semi-porté semi-
porté				
	batteuse			2 à 6 rang 2 à 6
rang				
Récolte igname	Souleveuse			portée, 1rang Gyrobroyeur plus arracheuse renforcée
Récolte manioc	Souleveuse aligneuse			porté 1 rang
	Récolteuse chargeuse			semi-portée
1 rang broyeur avant				
Récolte coton automoteur	cueilleur			automoteur 1 à 2 rang
2 à 3rangs				
Battage	batteuse	à porte fixe <2t/h	à porte fixe <4t/h	
	Egreneuse mil	à porte fixe		

des zones nouvelles, difficiles, voir impossible à cultiver manuellement ou en traction animale.

La motorisation permet d'accroître la production par l'augmentation de superficies cultivées quand des surfaces sont disponibles. Elle crée de fait un surcroît de travail, voir une augmentation de besoins en main-d'œuvre certains, comme pour la récolte du coton, par exemple. Cette augmentation de production peut aussi provenir de l'intensification.

La motorisation, par la puissance qu'elle fournit, permet de réaliser des opérations culturales d'intensification, ou plus généralement de gestion de fertilité difficile à mettre en œuvre ou avec la traction animale. On peut citer le broyage de résidus de récolte et leur enfouissement, ainsi que la manutention et l'épandage de fumure organique.

Dans la littérature, on attribue souvent à la motorisation, à tort, un effet néfaste sur le milieu alors que c'est la mécanisation mal utilisée par l'utilisation d'une forte puissance qui provoque de dégradations importantes : érosions ou diminution de la fertilité par la réduction de la jachère.

L'utilisation du tracteur a, en général, peu d'effets sur le rendement. Ceux-ci ne peuvent croître que si la qualité du travail se trouve améliorée. En outre, l'utilisation du tracteur modifie souvent les systèmes de culture et les assolements des exploitations. Il entraîne parfois l'abandon de cultures peu productives et à faible valeur marchande difficilement mécanisable.

Socialement, la motorisation s'accompagne de changements aux seins de villages et des communautés. Elle entraîne, entre autre, l'émergence de nouveaux métiers qualifiés - chauffeur, mécanicien, responsable, qui modifie les rapports sociaux entre individus. Elle permet dans certaines situations de retenir plus facilement les jeunes lettrés au village. Elle s'accompagne aussi de modifications parcellaires (remembrement), de création des routes et des pistes d'accès.

Les effets sur le niveau de vie de travailleurs sont difficiles à évaluer. Ceux relatifs à la répartition de revenu sont plus clairs. Les revenus de propriétaires de terres et de possesseurs de capitaux croissent plus rapidement que les revenus des ceux qui tirent leur moyens d'existence de leur travail. Cette tendance est souvent accentuée par l'octroi de subventions pour l'achat des tracteurs et l'octroi de crédits à des conditions favorables.

La motorisation est installée, en priorité, sur les grandes exploitations et tend à augmenter quand de réserves de terre existent. Mais le degré de

motorisations (investissement en matériel par hectare) peut être très élevé sur les petites exploitations en culture intensive. Dans le cas de saturation foncière des pays industrialisés, la motorisation a favorisé l'accroissement de superficies par la disparition des exploitations les moins performantes. Dans ces régions, la motorisation peut être considérée comme un avantage important permanent permettant de cultiver la terre plus vite entre les saisons et aussi d'intensifier les cultures. Ce dernier point n'est pas toujours évident à démontrer.

CHAPITRE II : LA MECANISATION DU LABOUR

2.1. DEFINITIONS

Le labour consiste théoriquement à découper une bande de terre de section rectangulaire A,B,C,D et à la retourner dans une position A,'B,'C,'

et D' placée environ à 45° ; cette position pouvant d'ailleurs varier beaucoup dans la pratique selon le rapport largeur x profondeur du labour (Fig.1).

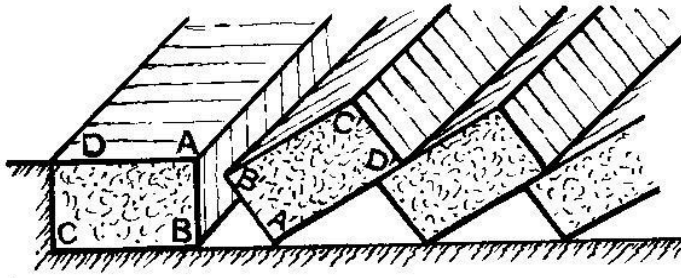


Figure 1 : Géométrie du labour

La distance AB représente la profondeur du labour. La distance BC représente la largeur du labour ; sa valeur est généralement exprimée en pouces (1 pouce = 25,4 mm), c'est ainsi qu'on dira qu'un corps de charrue travaille en 10, 12, 14 pouces, etc. Le plan déterminé par la ligne AB se nomme généralement « muraille » quelquefois « frayon », celui qui est déterminé par la ligne BC s'appelle « fond de raie » ou « jauge ».

La surface du rectangle ABCD se nomme « section du labour » et s'exprime généralement en dm^2 .

Le type de matériel utilisé pour réaliser le labour permet de diviser les charrues en deux grandes catégories, à savoir : les charrues qui versent la terre d'un seul côté telles que la charrue à soc de traction animale et la charrue à disques et les charrues qui versent la terre alternativement, d'un côté puis de l'autre vues au cours de moteurs et machines agricoles. L'utilisation de l'une ou l'autre de ces charrues aboutit à l'obtention, d'une part, des « labours en planches » et d'autre part, des « labours à plat ».

2.2. EXECUTION DU LABOUR

2.2.1. Labour en planches (Fig. 2)

Le labour en planches est exécuté, soit partant des rives d'un champ pour labourer en revenant vers le centre (labour dit « en refendant »), soit en partant du milieu de ce champ pour labourer en tournant autour de cette médiane (labour dit « en adossant »).

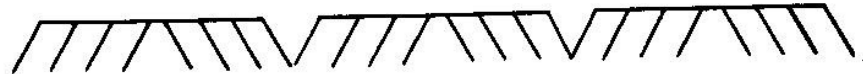


Figure 2 : Labour en planches

2.2. 2. Labour à plat (Fig.3)

Le labour à plat est celui qui est effectué de sorte que la terre soit versée, par rapport au champ toujours du même côté, c'est-à-dire que la charrue doit pouvoir verser alternativement à droite et à gauche en faisant des allers et retours jointifs. Le labour obtenu ne comporte qu'une *enrayure*, une *dérayure* et aucun *ados*.

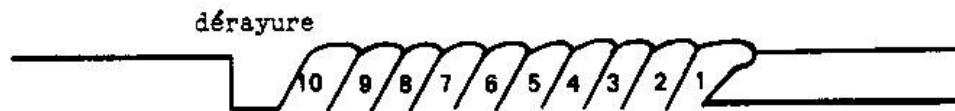


Figure 3 : Labour à plat

Dans tous les cas, il faut limiter les trajets en *fourrières* à 50 mètres au maximum afin d'éviter de trop grandes pertes de temps. Si le champ à labourer est de dimension supérieure, il faut le diviser en autant de parcelles qu'il y a de fois 50 mètres dans sa largeur. On obtient, une série de « *planches* » séparées par un « *ados* » ou une « *dérayure* ».

Dans tous les cas, il faut limiter les trajets en *fourrières* à 50 mètres au maximum afin d'éviter de trop grandes pertes de temps. Si le champ à labourer est de dimension supérieure, il faut le diviser en autant de parcelles qu'il y a de fois 50 mètres dans sa largeur. On obtient, une série de « *planches* » séparées par un « *ados* » ou une « *dérayure* ». Signalons, par ailleurs que l'on peut exécuter avec des charrues de labour en planches un type de labour dit « *en tournant* » ou à la « *Fellembert* » (Fig.4). Ce type de labour était réalisé autrefois en tournant autour des champs, le travail commençant par un de ses côtés pour terminer en son centre. Cette méthode n'était applicable que sur de très grandes parcelles et son exécution présentait quelques difficultés dans les virages et au centre. Actuellement, le labour à la Fellembert est réservé aux travaux de déchaumage. D'après le genre de culture que l'on désire installer, on peut choisir la profondeur et le type de labour à effectuer. D'une manière générale, on classe les labours en quatre catégories, à savoir :

- le labour de défoncement dont la profondeur atteint plus de 35 cm voire 1 mètre

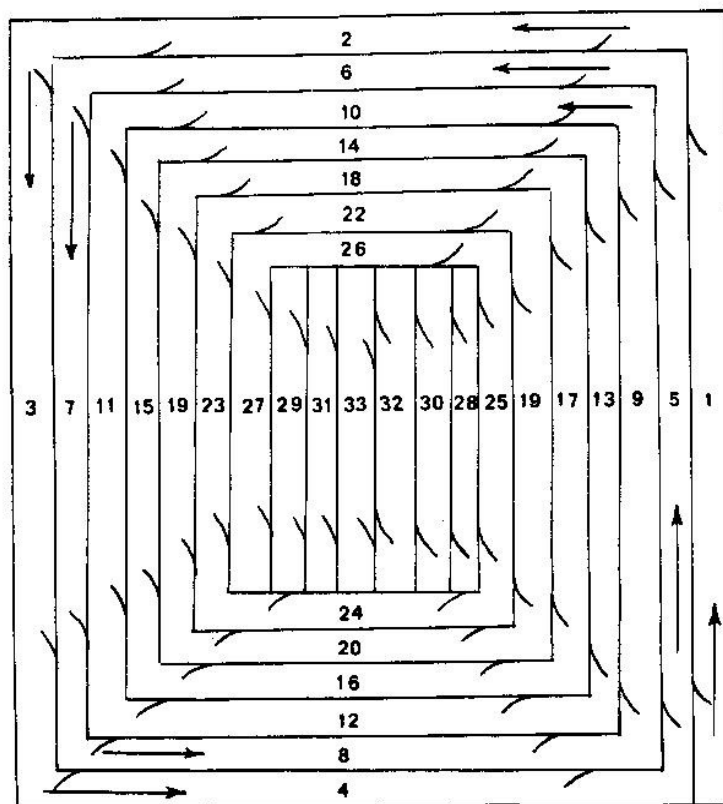


Figure 4 : Labour « en tournant » ou à la « Felleberg »

- le labour profond dont la profondeur atteint de 25 cm à 35 cm
- le labour moyen dont la profondeur atteint de 12 cm à 25 cm
- le labour superficiel dont la profondeur atteint de 8 cm à 12 cm.

Pour réaliser un labour idéal, il faut exposer à l'air une surface de terre maximum. On obtient cette exposition en inclinant la bande de terre retournée à 45° ; cela correspond à une largeur de raie 1,4 fois plus grande que la profondeur. Dans la pratique cependant, d'autres considérations peuvent déterminer ce rapport entre la profondeur et la largeur de travail de la charrue ; c'est ainsi que l'on distingue encore deux types de labour :

- les labours fortement inclinés à 25° dans lesquels la largeur travaillée est égale à plus ou moins 3 fois la profondeur (Fig.5). Ces genres de labours sont recommandables en terrains inclinés si on verse la terre vers le haut.

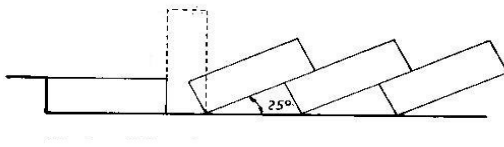


Figure 5 : Labour fortement incliné à 25° ($L = 3 P$)

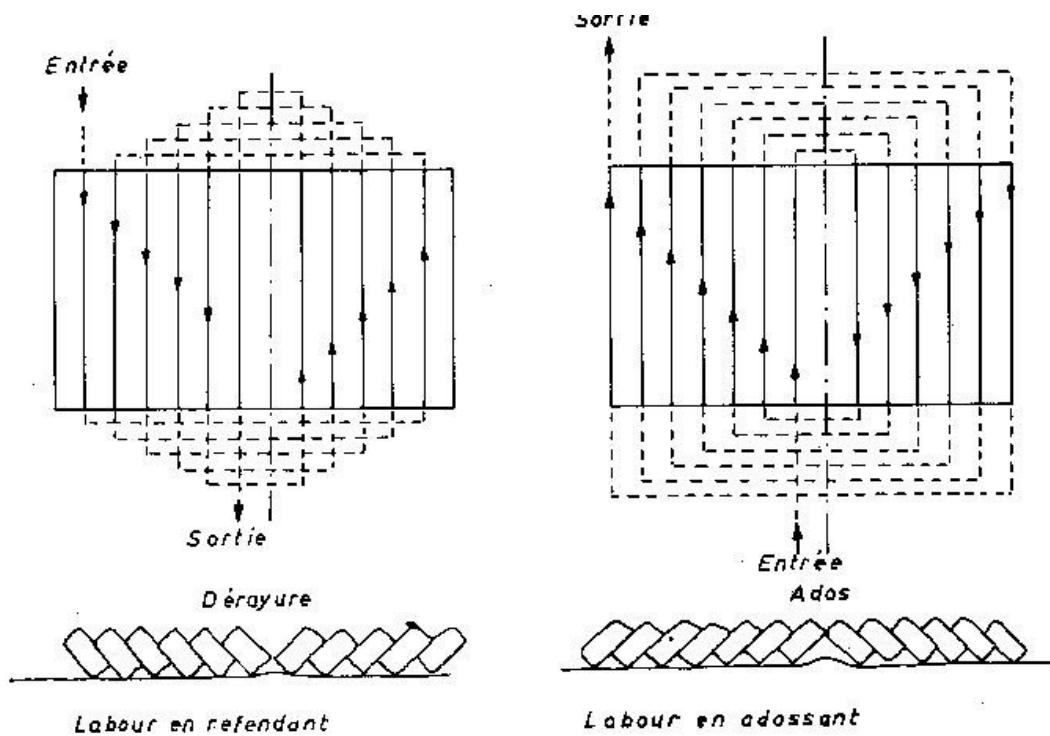


Figure 6 : types de labours en planches

- *les labours faiblement inclinés à 45°* (Fig.7) dans lesquels la *largeur travaillée* ne dépasse pas 1,25 fois la profondeur. Cette pratique peut se rencontrer lors des labours profonds laissant une terre creuse.

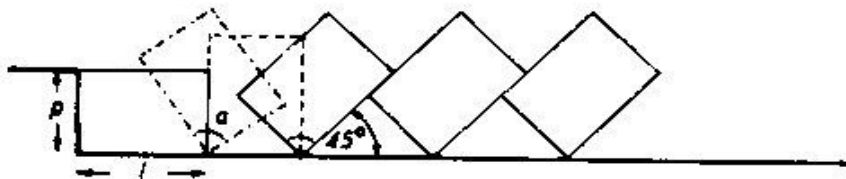
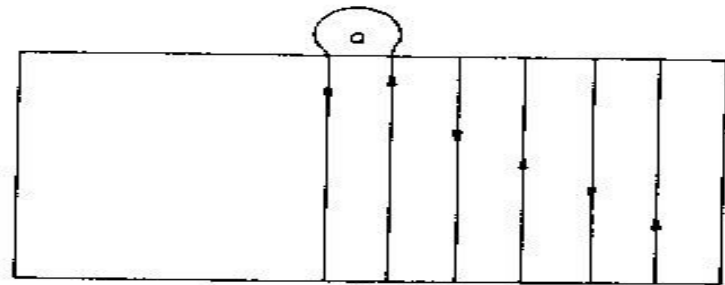


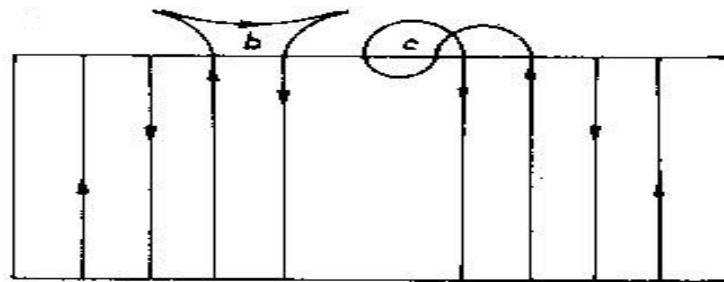
Figure 7 : Labours faiblement inclinés à 45° ($L = 1,4P$)

L'exécution des virages à la sortie du labour avec un tracteur portant une charrue sur une étendue étroite est une opération délicate.

Lorsque l'on dispose d'une place suffisante en bout de champ, on peut exécuter le virage par un demi-tour circulaire (a). Lorsqu'on doit limiter la fourrière au minimum, on peut employer une des méthodes suivantes : soit en boucle en huit (c) sur le guéret, soit un demi-tour en marche arrière (b) (Fig. 8).



Virage par un demi-tour circulaire.



Virages en marche arrière et en boucle en huit.

Figure 8 : L'exécution des virages à la sortie du labour

La vitesse avec laquelle on exécute des travaux avec un tracteur change avec la nature de l'opération agricole à réaliser. Par ailleurs, **il faut savoir que la puissance et le rendement de travail en mécanisation agricole dépendent de sources d'énergie utilisée** comme illustré dans les tableaux ci-dessous.

TABLEAU 14: VITESSES MOYENNES POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX AGRICOLES COURANTS AVEC LE TRACTEUR

Travail		Vitesses courantes d'exécution
PREPARATION DU SOL	Sous-solage	1 à 5 km/h
	Labour (socs)	3,6 à 7 km/h
	Labour (disques)	4,5 à 7 km/h
	Déchaumage (socs)	4 à 7 km/h
	Déchaumage (disques)	4 à 8 km/h
	Hersage	3 à 8 km/h
	Roulage	5 à 8 km/h
	Canadiennage	3 à 7 km/h
	Pulvérisage	3,6 à 7,2 km/h
	Passage de houe rotative	0,8 à 4 km/h
SEMIS ET EPANDAGES	Semis (en lignes)	4 à 8 km/h
	Semis de précision	2,5 à 3 km/h
	Plantation semi-automatique	1,5 à 2 km/h
	Repiquage	0,3 à 1,5 km/h
	Epandage d'engrais	3,6 à 10 km/h
	Epandage de fumier	3 à 5 km/h
	Epandage de fumier	4 à 6 km/h
Binage		2,5 à 6 km/h
Buttage		2,5 à 3,6 km/h
Traitement antiparasitaire liquide		6 à 8 km/h
Traitement antiparasitaire en poudre		5 à 15 km/h
RECOLTE	Fauchage (barre de coupe classique)	3 à 7,2 km/h
	Fauchage (barre rotative)	5 à 10 km/h
	Fanage	3 à 8 km/h
	Andainage	4 à 8 km/h
	Pressage-ramassage	3 à 6 km/h
	Ramassage-chargement	2 à 4 km/h
	Fauchage-hachage-chargement	3 à 5 km/h
	Arrachage	2 à 5 km/h
	Moissonnage-liège	4 à 6 km/h
	Moissonnage-battage	2 à 6 km/h
	Corn-pickage	2 à 5 km/h
Transport en charge		4 à 12 km/h

TABLEAU 15 : PUISSANCES MOYENNES NECESSAIRES POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX AGRICOLES COURANTS AVEC DIFFERENTS MOYENS DE TRACTION ET EQUIPEMENTS

Travail	Matériel utilisé	Traction généralement nécessaire en conditions moyennes sur terre franche	
		Traction chevaline (nombre de chevaux)	Traction mécanique (puissance nominale en ch)
Labour 25 cm	1 soc (12 à 14")	2	18 à 22, voire 25
	2 socs (12 à 14")	3	28 à 35, voire 40
	3 socs (12 à 14")	—	40 à 45, voire 55
	4 socs (14 à 16")	—	75 à 90
Labour 12 à 15 cm	1 soc (12 à 14")	2	15 à 18
	2 socs (12 à 14")	2 à 3	20 à 25
	3 socs (12 à 14")	—	30 à 35
	4 ou 5 socs (12 à 14")	—	60 à 80
Labour 8 à 10 cm	2 socs (10 à 14")	2	15 à 18
	3 socs (10 à 14")	2	15 à 18
	4 socs (10 à 14")	3	25 à 30
	5 socs (10 à 14")	—	35 à 40
Hersage moyen	2,50 m	1 à 2	15 à 18
	3 m	2 à 3	22 à 25
	5 m	—	30 à 35
	8 m	—	40
Roulage	1,50 m	1	12
	2,50 m	2	15 à 18
	3 m	3	22 à 25
	5 m	—	30 à 35
	8 m	—	40
Canadiennage (10 cm de profondeur)	1,30 m ou 7 dents	2	10
	1,50 m ou 11 dents	2 à 3	12 à 15
	1,75 m ou 13 dents	3	18 à 22
	2 m ou 15 dents	—	25 à 30
	2,50 m	—	35
Pulvérisage	simple tandem 6 à 8 disques	2	15 à 18
	simple tandem 8 à 12 disques	2	18 à 22
	double tandem 16 disques	—	22 à 28
	double tandem 24 disques	—	28 à 35
	double tandem 32 disques	—	35 à 40
	off-set 12 disques	—	35 à 40
	off-set 20 disques	—	50 à 60
	off-set 24 disques	—	65 à 80

Semis en lignes	2 m	2	18 à 22
	3 m	3	28 à 35
	4 m	—	35 à 40
Epannage d'engrais (types classiques)	2,50 m	2	22 à 25
	3 m	2	28 à 35
	4 m	3	35 à 40
Plantation de pommes de terre	1 rang	1 ou 2	12
	2 rangs	2	15 à 18
	4 rangs	—	25 à 30
Binage	3 rangs	2	12 à 18
	4 rangs	2	18 à 25
	6 rangs	—	30 à 35
Buttage	1 rang	1	—
	3 rangs	—	22 à 25
	4 rangs	—	25 à 30
Fauchage (barre de coupe à sections)	1,35 m	1 à 2	12
	1,50 m	2	12
	1,80 m	—	15 à 18
Fanage (à tambour)	2,10 m	1	12
	2,50 m	—	15 à 18
Andainage (à peignes)	2 m	1	12
	3 m	—	15 à 18
Pressage-ramassage (à prise de force)	3 t/h	1	15 à 18
	6 t/h	(moteur auxiliaire)	22 à 30
	12 t/h	—	40 à 50
	(moyenne densité) (forte densité)	—	50 à 60
Arrachage	Souleveuse 1 rang	2	12 à 15
	Arracheuse-rangeuse 1 rang	à prise de force	30 à 35
Moissonnage-liège (à prise de force)	1,50 m	3	12 à 15
	1,80 m	—	18 à 22
	2,10 m	—	22 à 25
	2,40 m	—	25 à 30
Moissonnage-battage (à prise de force)	1,20 m	—	20 à 25
	1,80 m	—	30 à 40
	2,40 m	—	40 à 50
Ramassage d'épis de maïs (corn-picker)	1 rang	—	22 à 25
	2 rangs	—	35 à 45

TABLEAU 16 : RENDEMENTS PRATIQUES MOYENS DE CERTAINS MATERIELS COURANTS DE MOTOCULTURE

Nature du matériel		Nature du travail	Rendement moyen
Charrues	sous-soleuses	profondeur 0,80 m	0,25 ha/h
	draineuses	profondeur 0,50 m	0,7 km/h
	charrues à socs traînées	profondeur 0,20 m	0,08 ha/h/soc
	charrues à socs portées	profondeur 0,20 m	0,10 ha/h/soc
	charrues à disques traînées	profondeur 0,20 m	0,08 ha/h/disque
	charrues à disques portées	profondeur 0,20 m	0,07 ha/h/disque
Déchaumeuses	à socs	profondeur 0,10 m	0,08 ha/h/soc
	à disques	profondeur 0,10 m	0,06 ha/h/disque
Pulvériseurs	en X cover-crop	profondeur 0,07 m	0,40 ha/h/mètre
		profondeur 0,09 m	0,40 ha/h/mètre
Cultivateurs ou canadiens		profondeur 0,10 m	0,33 ha/h/mètre
Herses		profondeur 0,09 m	0,33 ha/h/mètre
Rouleaux			0,25 ha/h/mètre
Houes rotatives à prises de force		profondeur 0,07 m	0,18 ha/h/mètre
Semoirs en lignes			0,20 ha/h/mètre
Epandeurs d'engrais	classiques centrifuges		0,50 ha/h/mètre
			3 ha/h
Epandeurs de fumier		40 T/ha	0,40 ha/h
Eparpilleurs de fumier		30 T/ha	1 ha/h
Moissonneuses-batteuses	tractées	1,20 m	10 q/h
		1,80 m	15 q/h
2,40 m		25 q/h	
	automotrices	1,80 m (25 ch)	13 q/h
		2,40 m (40 ch)	25 q/h
		2,80 m (60 ch)	40 q/h
		3 m (80 ch)	50 q/h
		3,60 m (120 ch)	80 q/h
	4,20 m (150 ch)	100 q/h	
Arracheuses combinées de betteraves		1 rang	0,07 ha/h
Décolleteuses			0,20 ha/h
Faucheuses			0,50 ha/h/mètre
Râteaux-faneurs-andaineurs			0,60 ha/h/mètre
Ramasseuses-presses		Moyenne densité	1 ha/h

CHAPITRE III : LA MECANISATION DU TRANSPORT AGRICOLE

En mécanisation agricole, le transport est assuré par des charrettes, remorques, dumpers, camions etc.... Deux facteurs principaux déterminent la charge à transporter. Il s'agit de *poids* et de *volume à déplacer*.

3.1. POIDS A DEPLACER

A la base de tout calcul de traction, il faut une estimation consciencieuse des poids mis en jeu. Ces poids comprennent la *charge utile* et la *tare des engins* de transport, c'est-à-dire leur poids à vide. On trouve, pour ce dernier, des valeurs approximatives dans les tableaux qui accompagnent la description des engins. Pour la détermination de la charge utile, le tableau ci-dessous indique le poids spécifique de différentes matières à déplacer.

TABLEAU 17 : POIDS SPECIFIQUES DES MATIERES LES PLUS UTILISEES DANS LES PROBLEMES DE TERRASSEMENT

NATURE DE LA MATIERE	POIDS EN TONNES PAR m ³	
	Moyen	Limites
Argile fraîchement excavé	-	1,67 - 1,85
Argile mouillée (ou compacte)	1,90	-
Argile sèche	-	1,50 - 1,60
Argile en morceaux	1,01	-
Boue	1,65	1,65 - 1,75
Basalte	2,90	2,70 - 3,00
Basalte concassé	1,65	-
Béton moyen	2,15	-
Béton prêt à couler	2,37	-
Boue sèche compacte	-	1,28 - 1,72
Calcaire	2,40	2,30 - 3,00
Calcaire venant de carrière	2,00	-
Calcaire concassé (ballast)	1,39	-
Calcaire concassé fin (gravillon)	1,45	-
Cendres	-	0,56 - 0,62
Charbon de bois	0,41	-
Chaux	0,48	0,40 - 0,56
Ciment en poudre comprimé	1,85	1,40 - 1,92
Ciment de Portland	1,51	-
Ciment en poudre désagrégé	1,20	0,90 - 1,35
Eboulis (roche)	1,80	-

	Huile de graissage ou carburant	0,90	-
	Pétrole	0,67	-
	Pierraille et sable	1,65	1,50 - 1,80
	Sable humide (sable de rivière)	1,80	1,70 - 1,90
	Sable mouillé	2,00	1,95 - 2,05
	Sable sec (Sable de carrière)	1,50	1,40 - 1,65
	Granit concassé (ballast)	1,43	-
T	Terre commune comprimée fraîche	2,10	2,00 - 2,20
	Terre commune comprimée sèche	1,80	1,60 - 1,92
	Terre commune désagrégée fraîche	1,40	-
	Terre commune désagrégée sèche	1,20	1,12 - 1,28
	Terre de remblayage mouillée	1,65	-
	Terre glaise mouillée	2,00	-
	Terre glaise sèche	1,60	-
	Tourbe sèche	-	0,245 - 0,30
	Tourbe humide	-	0,55 - 0,65
	Minerai de fer a 50%	4.01	-

Le poids spécifique varie avec :

- l'humidité de la matière considérée
- la texture (granulométrie)
- la porosité
- la densité.

Exemples :

- le bois vert pèse 20 à 50% de plus que le bois sec ;
- le poids spécifique d'une matière désagrégée dépend de la proportion des vides qu'elle renferme.
- le rocher fraîchement abattu a généralement une certaine humidité. Il la perd rapidement après une exposition au soleil (4 à 10%). Mieux la pierre est fragmentée, plus vite elle perd son humidité.

3.2. VOLUME A DEPLACER

En général, les travaux de terrassement et de transport sont confiés évalués en volume de matière « en place », avant d'être désagrégée. Ce volume signifie *charge effective* ou *play-load* en anglo-américain.

Après excavation, au moment du transport par exemple, la même matière a subi, à poids égal, une augmentation de volume due au foisonnement. Le rapport entre le volume de la matière foisonnée et celui de la matière à

l'état primitif, ou *play-load*, est le **coefficient de foisonnement**. Le rapport inverse du précédent est le **coefficient de retrait**.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de ces deux coefficients pour différents matériaux.

TABLEAU 18 : COEFFICIENT DE FOISONNEMENT ET DE RETRAIT DE DIFFERENTS MATERIAUX.

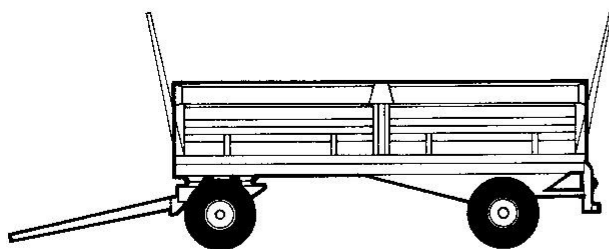
MATERIEL	COEFFICIENT	
	De foisonnement	De retrait
Sable et gravier propre, sec	1,07 à 1,15	0,93 à 0,87
Sable et gravier propre, mouillé	1,09 à 1,18	0,92 à 0,85
Terre de surface	1,11 à 1,20	0,90 à 0,84
Terre commune	1,20	0,84
Marne sableuse	1,18	0,85
Marne argileuse	1,25	0,80
Terre marneuse	1,20	0,84
Boue, terre commune	1,24 à 1,35	0,81 à 0,74
Argile avec sable ou gravier	1,30 à 1,45	0,77 à 0,69
Argile molle, friable, dense	1,35 à 1,55	0,74 à 0,65
Argile dure, tenace	1,42 à 1,50	0,70 à 0,67
Argile dure, mélangée de roches et de racines	1,62	0,62
Rocher friable mou	1,50 à 1,73	0,67 à 0,58
Rocher dur, bien brisé	1,56	0,64
Rocher dur, mal brisé en gros morceaux	1,98	0,50

En réalité, la détermination du degré de foisonnement ou de compacité des matières à transporter est complexe, et des erreurs à ce propos sont fréquentes.

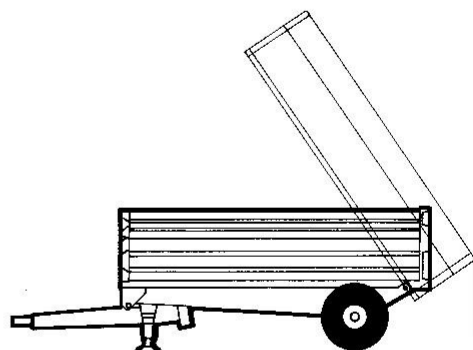
En effet, la compacité d'une charge est fonction du mode et de la hauteur de chargement. Ainsi, un élévateur grader, déversant à faible hauteur, charge une terre aérée, à foisonnement élevé. Une pelle ou une dragline arrachant d'un seul coup une masse importante de terre et la laissant tomber de haut fait que le foisonnement de celle-ci soit moindre. Quant au scraper, son procédé de chargement favorise à tel point la compacité qu'il prend, à capacité nominale égale, dans certains terrains, une charge de 10 à 15% supérieure à celle que manipulerait une pelle ou un élévateur grader.

Les constructeurs désignent souvent un engin par sa capacité nominale ; sauf indication contraire, c'est le volume géométrique du contenu, à ras bord, auquel on ajoute le chapeau, dont la valeur dépend de la matière avec laquelle on remplit l'engin ; en effet, le volume du chapeau est fonction du talus d'éboulement, qui varie de 1 : 1 à 1 : 3, ou plus encore.

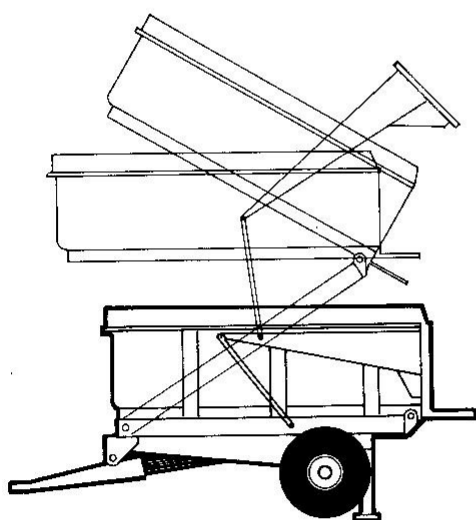
La capacité doit donc être indiquée avec précision : capacité à ras bord (*struck capacity*) ou capacité avec chapeau (*heaped capacity*), mais on doit alors mentionner la nature - ou mieux encore l'angle d'éboulement - de la matière chargée.



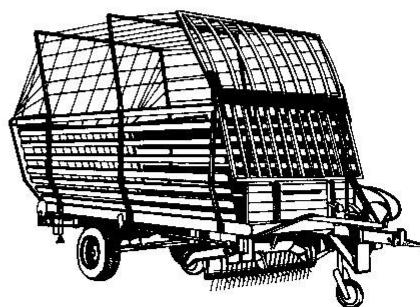
Remorque à avant-train directeur



Remorque semi-portée



**Remorque semi-portée,
spéciale pour engrais**



**Remorque semi-portée
autochargeuse**

Figure 9 : Types de remorques agricoles

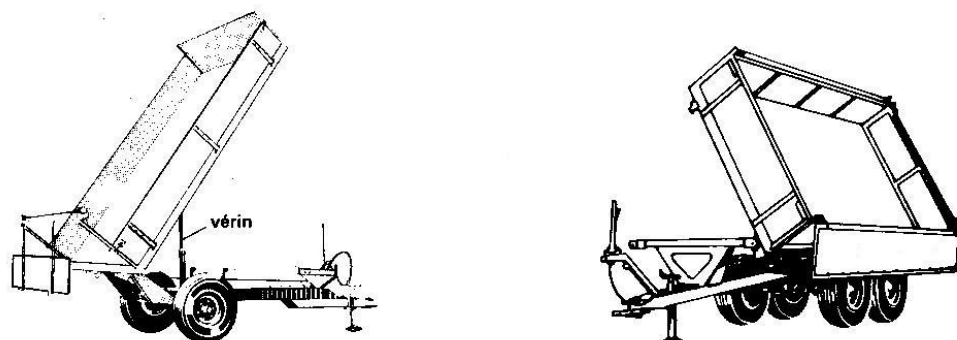


Figure 10 : remorque à basculement arrière et à basculement latéral

La capacité avec chapeau est la plus usitée, parce qu'elle correspond au chargement réel de l'engin. Le payement en *play-load* (charge effective) étant d'usage, il faut exprimer la capacité de l'engin en fonction de cette valeur, à l'aide de cette formule :

$$C = \frac{C'}{f}$$

où C : capacité en play - load ; C' : capacité effective de l'engin (avec chapeau) et f : coefficient de foisonnement de la matière

Les éléments intéressants du dumper sont :

- le moteur et les divers organes de transmission,
- les essieux, les roues et les freins,
- le châssis, la suspension et la benne,
- le mécanisme de culbutage,
- le poste de conduite et ses commandes.

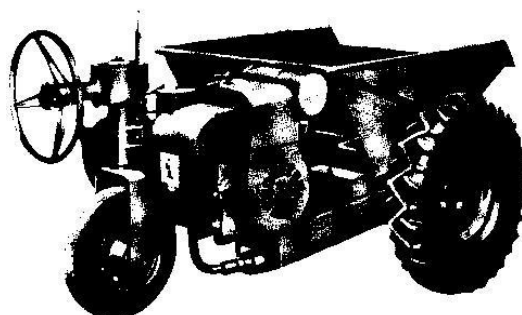


Figure 11 : Le dumper

transportée. Outre ce qui précède, il faut tenir compte de la charge utile maximale de l'engin transporteur. Celle-ci est exprimée en tonnes ou en kilogrammes. Cette donnée est toujours signalée en plus de la capacité, pour les dumpers (Fig. 11) et les wagons - remorques.

3.2.1. Cycle et temps d'exécution des travaux

Le travail avec les machines de terrassement exige une bonne gestion du temps. En effet, l'entrepreneur est tenu de savoir :

- le temps qu'il faut pour exécuter un travail donné
- le temps qu'il faut à une machine pour faire un aller - retour entre le chantier et la carrière, par exemple.

Le temps complet aller et retour est celui que l'on appelle la « **durée du cycle** ».

Un cycle est divisé en 2 temps :

- **le temps fixe**, celui qui regroupe tous les temps de travail autres que ceux consacrés au parcours en charge ou à vide, c'est-à-dire : chargement, vidange ou épandage, accélération, ralentissement. Ces temps ne varient pas tellement quelle que soit la longueur du parcours (L).

- **le temps variable**, celui qui est consacré au transport proprement dit, c'est-à-dire, le temps nécessaire pour effectuer le parcours en charge et à vide. Cela varie en fonction de la distance et de la vitesse de marche des engins.

On peut donc calculer la durée du cycle en appliquant la formule suivante :

Durée du cycle : temps fixes + temps variables

$$\text{Temps variables (en minutes)} : \frac{\text{Dist}(m).60}{\text{Vit}(km/h).1000}$$

Comme les parcours à vide ou en charge diffèrent, on aura :

$$\text{Temps variables (min)} : \frac{\text{Aller}(m).60}{\text{Vit}(km/h).1000} + \frac{\text{Retour}(m).60}{\text{vit}(km/h).1000}$$

Les temps fixes, pour certaines machines, peuvent être relevés sur les notices mais, à titre indicatif. Il conviendrait de vérifier certains d'entre eux, les délais d'attente, les difficultés de circulation, l'encombrement de certaines sections de routes à emprunter... pourraient fausser les temps fixes donnés par les performances de la notice.

Il est possible de **diminuer les temps fixes**, en procédant comme suit :

- organiser le travail à la zone d'excavation de façon à charger en pente descendante.
- éliminer les attentes en employant suffisamment de pousseurs pour le nombre de scrapers à charger
- les tracteurs « pousseurs » peuvent aussi être munis de riper. Dans certains cas, il est indispensable de désagréger le sol ou la roche au préalable
- utiliser un matériel possédant la puissance nécessaire, en particulier pour pousser.

Pour **diminuer les temps variables**, il faut :

- étudier soigneusement la disposition des pistes de circulation sur le chantier et le meilleur itinéraire sur routes. La ligne droite est la distance la plus courte entre deux points mais, parfois, en terrain accidenté, il est plus avantageux de contourner une butte ou une colline.
- entretenir soigneusement les pistes de circulation. Dès que le chantier est assez important, on peut y affecter une niveleuse en permanence. Le temps consacré à l'entretien des pistes sera largement regagné par la vitesse plus élevée des unités de transport

3.2.2. Production et rendement

Le nombre de cycles par heure et les mètres cubes chargés par voyage (exprimé en m³ de terre en place) donnent la production des matériaux de terrassement.

Pour obtenir un bon **rendement** du matériel, il faut pouvoir déplacer de gros cubages de déblais au prix de revient le plus avantageux.

Matériel et conducteurs ne travaillent pas 60 minutes par heure, mais il faut tenir compte du facteur **efficience** dans toute évaluation de la production connaissant la durée du cycle, qui est le total des temps fixes et des temps variables, il est facile de calculer le nombre de cycles par heure :

$$\text{Nombre de cycles par heure} = \frac{60 \text{ min}}{\text{Dur. Cycle (min)}}$$

On considère l'efficience des tracteurs selon que ces derniers sont à pneus ou à chenilles. On admet qu'un tracteur à pneus travaille en moyenne pendant 45 minutes par heure et le tracteur à chenilles 50 minutes par

heure et les facteurs d'efficience leur correspondant sont respectivement 0,75 et 0,83. Dans ce cas, on peut calculer le cycle/heure, comme suit :

- cas de tracteurs à pneumatiques: $\frac{45 \text{ min}}{\text{Dur. Cycle (min)}}$

- cas de tracteurs à chenilles: $\frac{50 \text{ min}}{\text{Dur. Cycle (min)}}$

Etant donné les difficultés de déterminer l'efficience, il est conseillé de prendre 60 min/heure. La formule suivante permet **d'évaluer la production horaire réelle** :

Production horaire : m³/cycle x cycle/heure x facteur d'efficience.

CHAPITRE IV : ECONOMIE DE LA MECANISATION AGRICOLE

4.1. GENERALITES

La mécanisation agricole est une activité économique génératrice de revenu. Dans certaines conditions il peut être question de déterminer la rentabilité de travaux mécanisés soit à titre prévisionnel ou réel.

4.2. CALCUL DU PRIX DE REVIENT HORAIRE PREVISIONNEL DU TRAVAIL DES ANIMAUX DE TRAIT

Les animaux de trait peuvent être utilisés en exploitation familiale ou en exploitation industrielle. Dans tous les cas, les principaux postes de calcul du prix de revient prévisionnel d'utilisation horaire de ces animaux, sont regroupés comme suit :

- **frais fixes**
- **frais variables sous certaines conditions**
- **frais essentiellement variables.**

4.2.1. Cas de travail en exploitation familiale

Les calculs concernent :

2.2.1.1. Frais fixes

Les frais fixes sont constitués par les frais du capital à savoir :

- **l'intérêt du capital investi**
- **l'assurance**
- **l'amortissement**

2.2.1.2. frais variables sous certaines conditions

Les frais variables sous certaines conditions sont constitués par

Le harnachement.

2.2.1.3. Frais essentiellement variables.

Les frais essentiellement variables concernent :

- **dépense pour la ration de qualité (de travail)**
- **Salaire du conducteur**

En détails, les calculs se font comme repris ci-dessous :

A. frais Fixes :

$$\begin{array}{ll}
 - \text{ l'intérêt du capital investi :} & 75\% \times P.A \times T.I \\
 - \text{ l'assurance:} & 80\% P.A \times \\
 \text{coeff.assurance} & \text{(}^1\text{)}
 \end{array}$$

$$\frac{\text{Valeur à amortir}}{\text{Durée à am}}$$

- l'amortissement**4.2.2. Cas de travail en exploitation industrielle**

Les calculs concernent :

- les frais du capital
- les dépenses de nourriture
- les dépenses d'entretien
- les frais de conduite
- les frais généraux

4.2.2.1. Frais du capital

Les frais du capital comprennent l'*amortissement* et l'*intérêt du capital*.

A. Amortissement

L'amortissement se calcule sur base de la *valeur à amortir* et de la *durée d'amortissement* des animaux.

a) Valeur à amortir

La *valeur à amortir* se calcule sur base de la formule suivante :

$$\text{Prix d'achat de l'animal} - \text{Prix de vente de l'animal en fin carrière}$$

b). Durée d'amortissement

La *durée d'amortissement* des animaux correspond à la durée de leur utilisation ; laquelle est estimée comme suit :

- 6 ans pour le bœuf
- 7 à 8 ans pour le cheval
- 8 à 10 ans pour l'âne.

Le calcul de l'amortissement se fait à partir de la formule suivante :

$$\text{Amortissement} = \frac{\text{Valeur à amortir}}{\text{Durée d'amortissement}}$$

¹ Le coefficient de frais d'assurance : 8 %

B. Intérêt du capital

L'intérêt du capital représente 6 % de 75 % du prix d'achat des animaux dressés et aptes au travail. Ce qui revient à appliquer la formule :

$$\text{Intérêt du capital} = \text{Prix d'achat} \times 0,06 \times 0,75$$

4.2.2.2. Dépenses de nourriture

La nourriture est assurée sous forme de *ration d'entretien* complétée par la *ration de travail*.

La *ration d'entretien* est constituée par les aliments grossiers (le fourrage etc.) et la ration de travail par les aliments de qualités (concentrés etc.).

En Afrique, les aliments grossiers ne coûtent rien en exploitation familiale. Par contre, les aliments de qualité coûtent cher. En exploitation industrielle, on tient compte de besoins énergétiques des animaux de trait. Ces besoins sont déterminés comme détaillé ci-dessous.

A. Détermination des besoins énergétiques journaliers

Le besoin énergétique des animaux à couvrir par la ration d'entretien dépend de leur poids vif. Ainsi :

- pour un bœuf de 300 kg, il faut 2,60 U.F/jour
- pour un bœuf de 200 kg, il faut 1,95 U.F/jour
- pour un bœuf de 250 kg, il faut 2,30 U.F/jour
- pour un bœuf de 350 kg, il faut 2,95 U.F/jour
- pour un bœuf de 400 kg, il faut 3,25 U.F/jour
- pour un bœuf de 450 kg, il faut 3,55 U.F/jour
- pour un bœuf de 500 kg, il faut 3,85 U.F/jour.

En supplément, on prévoit apporter la ration de qualité susceptible de couvrir, selon l'importance du travail à effectuer, les besoins en énergie comme suit:

- pour le travail léger : 1,40 U.F
- pour le travail moyen : 2,60 U.F
- pour le travail lourd (soutenu) : 4,00 U.F.

B. Détermination de la valeur fourragère des aliments

Pour déterminer la valeur fourragère des ressources alimentaires locales, on se rapporte aux tableaux de référence publiés par les institutions de recherches agrostologiques. A partir de la valeur fourragère des aliments, on peut estimer les dépenses qui seront occasionnées par la nourriture.

C. Estimation de dépenses de nourriture

Etant donné que seuls les aliments de qualité (grains de maïs, sorgho, racine de manioc) sont achetés, en Afrique, les dépenses de nourriture concernent uniquement cette catégorie d'aliment. L'estimation se fait par référence au prix de vente réel de ces denrées alimentaires sur le marché local.

La quantité d'aliment de qualité à prévoir dépend des heures de travail que doivent effectuer les animaux.

Les dépenses de nourriture se calculent à partir de la détermination de besoins énergétiques des animaux, comme suit:

a) Besoin annuel des animaux en unités fourragères

Besoin annuel en U.F = Nombre de jours que compte une année x nombre
d'U.F./jour/animal x nombre d'animaux

b) Valeur annuelle des U.F. nécessaires :

Prix des U.F. nécessaires au cours de l'année = Nombre U.F. annuelles x Prix unitaire de l'U.F.

4.2.2.3. Dépenses d'entretien

Les dépenses d'entretien sont celles qui couvrent les frais de :

- Pansage et soins divers
- Amortissement de harnachement
- Ferrures
- Soins vétérinaires.

Les ferrures sont rarement effectuées et les soins vétérinaires sont souvent gratuits, en Afrique, sauf en cas d'exploitation industrielle.

A. Calcul de frais de pansage et soins divers

Les frais de pansage et soins divers sont calculés, en Afrique, uniquement en cas d'exploitation industrielle. Cela, d'après la formule suivante :

Frais de pansage et soins divers = Nombre d'heures de travail/an (N.B : ¼ hr/jour : 125 heures) x Nombre d'animaux x prix de pansage et soins divers

B. Calcul des frais d'amortissement de harnachement

Selon le type de harnais utilisé, ce dernier peut être amorti en 1 ou 5 années.

L'amortissement peut donc être calculé d'après la formule suivante :

Amortissement de harnachement :

$$\frac{\text{Prix d'achat du harnais}}{\text{Durée d'amortissement du harnais}}$$

C. Calcul des frais de ferrure

Comme cela a déjà été signalé ci-dessus, les ferrures sont rarement effectuées en Afrique. On ne les calcule donc pas.

D. Calcul des frais vétérinaires

Ces frais se calculent, en Afrique, uniquement en cas d'exploitation industrielle. La formule appliquée est, Frais vétérinaires : Prix d'achat des soins vétérinaires x 0,08

4.2.2.4. Frais de conduite

Les frais de conduite comprennent le salaire (journalier ou horaire) + les charges sociales + les congés payés. Ces frais concernent même la main-d'œuvre familiale.

Le calcul se fait d'après la formule suivante : Frais de conduite = Nombre d'heures de travail/an x salaire horaire.

4.2.2.5. Frais généraux

Les frais généraux sont : le logement et l'assurance des animaux.

A. Frais de logement

Les frais de logement ne varient pas avec le nombre d'heures de travail par an. Il est par conséquent, le même au cours de toute l'année. Généralement, en Afrique, le logement étant construit en matériaux semi-durable, il est amortit en 2 ou 4 ans.

B. Frais d'assurance

En Afrique, l'assurance des animaux n'existe pas. Sinon, on prend 8/10 du prix d'achat des animaux avec un taux annuel de 8 %. Pour cela, les frais d'assurance se calculent comme suit : Frais d'assurance = Prix d'achat des animaux X 0,8 x 0,08.

PRIX DE REVIENT PREVISIONNEL D'UTILISATION HORAIRE DES ANIMAUX DE TRAIT :

$$\frac{F. \text{ du capital} + D. \text{ de nourriture} + D. \text{ d'entretien} + D. \text{ de conduite} + F. \text{ g\u00e9n\u00e9raux}}{N \text{ d'heures de travail par an}}$$

Exemple chiffr\u00e9 : Cas d'une exploitation familiale

Donn\u00e9es

Calculez le co\u00fbt horaire d'utilisation d'une paire de b\u00f4eufs pesant chacun 350 kg, dont le prix d'achat est de 32.000 Fc et que l'on peut revendre \u00e0 20.000 Fc, sachant que le travail est \u00e0 r\u00e9aliser en exploitation familiale :

- la dur\u00e9e d'utilisation de ces animaux est de 6 ans
- le taux d'int\u00e9r\u00eat annuel est de 6%
- l'U.F de ma\u00efs co\u00fbte 10 Fc
- le joug de garrot \u00e0 utiliser co\u00fbte 1.500 Fc et peut \u00eatre amorti en 2 ans
- les frais de pansage et soins divers sont de 35 Fc
- le salaire horaire y compris les charges diverses est de 30 Fc
- le nombre d'heures de travail est de 6 heures par jour
- le nombre d'heures de travail par an est de 250 heures.

Solution

Frais Du Capital

$$\text{a) Amortissement : } \frac{32.000 \text{ Fc} - 20.000 \text{ Fc}}{6} = 2.000 \text{ Fc}$$

$$\text{b) Int\u00e9r\u00eat du capital : } 32.000 \times 0,75 \times 0,06 = 1.440 \text{ Fc}$$

D\u00e9penses de Nourriture

Calcul de la ration de travail (aliment de qualit\u00e9)

$$\text{a) Nombre de jours de travail par an : } \frac{250}{6} = 42 \text{ jours}$$

$$\text{b) Co\u00fbt annuel des aliments de travail : } 42 \times 3 \times 15 \times 2 = 3.780 \text{ Fc}$$

D\u00e9penses d'entretien

$$\text{Amortissement du harnais : } \frac{1.500}{2} = 750 \text{ Fc}$$

Frais de conduite

Salaire annuel du conducteur : $250 \times 30 = 7.500 \text{ Fc}$

Frais généraux

Assurance : $32.000 \times 0,8 \times 0,08 = 2.048 \text{ Fc}$

COÛT HORAIRE: $\frac{3.440 + 3.780 + 750 + 7.500 + 2.048}{250} = 70 \text{ Fc}$ par heure.

Exemple chiffré : Cas d'une exploitation industrielle

Données

Calculez le coût horaire d'utilisation d'une paire de bœufs pesant chacun 350 kg, dont le prix d'achat est de 32.000 Fc et que l'on peut revendre à 20.000 Fc, sachant que le travail est à réaliser en exploitation industrielle :

- la durée d'utilisation de ces animaux est de 6 ans
- le taux d'intérêt annuel est de 6%
- l'U.F de maïs coûte 15 Fc
- l'U.F du fourrage coûte 5 Fc
- le joug de garrot à utiliser coûte 1.500 Fc et peut être amorti en 2 ans
- les frais de pansage et soins divers sont de 35 Fc
- le salaire horaire y compris les charges diverses est de 35 Fc
- le coût annuel du logement est de 5.000 Fc
- le nombre d'heures de travail est de 6 heures par jour
- le nombre d'heures de travail par an est de 250 heures.

Solution

Frais du capital

a) Amortissement : $\frac{32.000 \text{ Fc} - 20.000 \text{ Fc}}{6} = 2.000 \text{ Fc}$

b) Intérêt du capital : $32.000 \times 0,75 \times 0,06 = 1.440 \text{ Fc}$

Dépenses de nourriture

A. Calcul de la ration de travail (aliment de qualité)

a) Nombre de jours de travail par an : $\frac{250}{6} = 42 \text{ jours}$

b) Coût annuel des aliments de travail : $42 \times 3 \times 15 \times 2 = 3.780 \text{ Fc}$

B. Calcul de la ration d'entretien (aliment grossier) : $365 \times 3 \times 2 \times 5 = 10.950 \text{ Fc}$

Dépenses d'entretien

- a) Amortissement du harnais : $\frac{1.500}{2} = 750$ Fc
- b) Frais de pansage et soins divers : $250 \times 35 = 8.750$ Fc
- c) Frais vétérinaires : $32.000 \times 0,008 = 2.560$ Fc

Frais de conduite

Salaire annuel du conducteur : $250 \times 35 = 8.750$ Fc

Frais généraux

Logement : = 5.000 Fc

Assurance : $32.000 \times 0,8 \times 0,08 = 2.048$ Fc

COÛT HORAIRE:

$$\frac{3.440 + 14.730 + 750 + 8.750 + 2.560 + 8.750 + 5.000 + 2.048}{250} = 184 \text{ Fc par heure}$$

4.3. CALCULS ECONOMIQUES DE L'UTILISATION DES MACHINES EN MOTOCULTURE

Le coût d'utilisation d'un matériel agricole se calcule en tenant compte des charges de natures différentes, qu'il s'agisse d'un coût prévisionnel estimé ou d'un coût constaté après l'utilisation. En théorie, le prix de revient de travaux mécanisés est facile à calculer lorsque toutes les dépenses effectuées sont enregistrés. Ceci est malheureusement, rarement, le cas dans le pays en développement ; dans ce paragraphe nous nous appuyons sur trois exemples des calculs du plus simple au plus complexe : une machine seul, un tracteur ou un automoteur, et **chantier, c'est-à-dire une machine et son tracteur.**

4.3.1. Prix de revient prévisionnel

Les prix de revient prévisionnel sont indiqués par matériel à l'heure ou à l'hectare ou encore en nombre de remorques ou de ballots de paille. Dans ce cours on s'intéressera au cas le plus général : le coût horaire de l'utilisation des engins agricoles. Les autres coûts peuvent le plus souvent en être déduits. Ce coût horaire ne peut être qu'estimatif car il fait appel à des coefficients, des moyennes, des prévisions d'utilisation...Toute fois, il permet d'avoir une idée sur l'opportunité d'un achat éventuel sur les tarifs de location à appliquer pour les matériels d'utilisation collective et sur le choix du type de matériel. Ces calculs sont indispensables à un organisme

de prêts ou aux concessionnaires vendant à crédit ou encore à l'Etat pour les opérations importantes de financement d'investissement. Il existe plusieurs méthodes de calcul suivant les pays, les conditions d'utilisation de matériel... Nous reprendrons une méthode simple qui distingue les frais fixes, les frais variables sous certaines conditions et les frais essentiellement variables.

4.3.1.1. Frais fixes

Les frais fixes sont indépendants de la durée annuelle d'utilisation des matériels.

En pays industrialisés, les frais fixes sont constitués par : **l'intérêt du capital investi** (en général le taux d'intérêt pratiqué par les caisses locales des prêts aux agriculteurs à moyen terme) **les primes d'assurances, les charges d'abri et, éventuellement, les impôts et les taxes.**

Dans le pays en développement, on ne considère que **les intérêts du capital investi** (rémunération du capital immobilisé) ; les assurances ne sont prises en compte que pour des achats à crédit des gros matériels car elles sont rendues obligatoires par l'organisme de prêts. Les paysans ou groupements qui investissent dans des bâtiments pour abriter leurs matériels sont très rares.

Les frais fixes sont habituellement les suivants :

- **L'intérêt du capital** (moitié du taux moyen des prêts à moyen terme de l'organisme de prêts) ;
- **Assurances** (incendie, recours de tiers) : 0,5 à 1 % du prix d'achat ou bien les tarifs pratiqués par les compagnies ;
- **Abri** : 0,5 à 1 % du prix d'achat ;
- **Impôt sur la vente de matériel, taxes, cartes grise.**

4.3.1.2. Frais variables sous certaines conditions

Les frais variables sous certaines conditions comprennent : **les charges d'amortissement et les dépenses de réparation du matériel.** _

L'amortissement consiste à répartir le prix d'achat sur la durée de vie de manière à reconstituer le capital nécessaire au renouvellement du matériel. Il ne faut pas confondre l'amortissement (perte de valeur d'un équipement) et le remboursement de capitaux empruntés pour l'acquisition du matériel.

Il est admis que si l'utilisation annuelle prévisible en heure du travail est plus grande que le rapport « Durée totale d'amortissement en heures de

travail / Nombre d'années d'utilisation », l'amortissement doit être porté en frais variables. En deçà, il est mis au compte de frais fixes. En pratique, cela correspond à une utilisation faible et à une dépréciation due essentiellement au vieillissement technique ou aux intempéries.

Dans les pays en développement, on amortit le prix d'achat (la valeur de revente est considérée comme nulle), augmenté des frais de transport, de manutention, d'installation et de mise en route.

Par contre, dans les pays industrialisés, la valeur d'amortissement est égale au prix d'achat, moins la valeur estimée de revente. La durée d'amortissement s'exprime en quantité de travail / heures ou hectares) et en Nombre d'années d'utilisation. Pour un organisme de prêt, la durée d'amortissement ne peut en aucun cas être inférieure à la durée du prêt accordé. Le calcul d'amortissement peut être linéaire ou dégressif. Dans notre exemple nous utilisons l'amortissement linéaire, plus simple et satisfaisant en pays en développement, vu le manque d'informations sur les performances des matériels.

Les frais de réparation comprennent de dépenses de main-d'œuvre et les pièces détachées. On les exprime, en général, par rapport à la valeur d'achat, à l'aide des coefficients calculés à partir d'enquêtes auprès de constructeurs et réparateurs des pays développés. Les informations concernant les pays tropicaux sont rares. A défaut, nous prenons en compte les mêmes coefficients ; les frais des pièces sont peut être plus élevés, mais la main-d'œuvre est moins chère.

TABLEAU 19. ESTIMATION DE LA DUREE DE VIE DES MATERIELS ET DES COEFFICIENTS DE REPARATION

Matériels	Durée d'utilisation possible		Coefficient de réparation % du prix neuf
	Années	Heures	
Motoculteurs	8	1000	60
Tracteurs à roues	10	8000	100
Tracteurs à chenilles	15	10.000	80
Matériels de travail du sol	10	2500	120
Matériels de semis et épandage	10	1000	100
Batteuse	10	5000	100
Matériels de récoltes et automoteurs	8	2000	60
Remorques	10	5000	20
Décortiqueuses et moulins	10	2000	50

Note : Ces chiffres sont donnés à titre indicatif car ils sont sujets à des variations très sensibles suivant les contextes d'utilisation.

4.3.1.3. Frais essentiellement variables

Les frais essentiellement variables sont proportionnels à la durée d'utilisation annuelle : dépense de carburant, du lubrifiant, de conduite et d'entretien. La consommation en carburant s'exprime de la manière suivante : 0,19 l par cheval et par heure pour le moteur à essence, 0,09 à 0,10 l par cheval et par heure pour les moteurs diesel. Ce sont des coefficients moyens qui sont utilisables à défaut d'information plus précises. Ils varient en fonction des travaux réalisés (des puissances demandées aux moteurs) et de la méthode de relevage de temps de travaux. Il est assez aisé de les vérifier sur le terrain si l'on souhaite une grande précision. Le tableau 20 présente quelques données relevées au Sénégal.

TABLEAU 20 : CONSOMMATION ET CHARGES DE MONTEURS OBSERVEES DANS LES PERIMETRES IRRIGUES DE LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL

<i>Matériel</i>	<i>Tracteur avec cover crop</i>
<i>Moissonneuse batteuse</i>	
Puissance moteur (ch)	100
120	
Consommation horaire (l/h)	11
12	
Consommation spécifique (l/ch/h)	0,11
0,10	
Coefficient de charge	0,45
0,4	

La consommation en lubrifiant est estimée à partir de la consommation du moteur, et pour les tracteurs et machines automotrices, il faut prendre en compte les vidanges de boîte, de pont et de systèmes hydrauliques. En moyenne on peut retenir les valeurs suivantes 2,5 l/100 l de combustible pour les moteurs seuls, 4,5 l/100 l de combustible pour le tracteur et les automoteurs.

Les précisions sur quelques éléments de calcul

La situation des amortissements est le point central de la reproductivité des opérations mécanisées beaucoup de ces opérations sont disparues car elles n'ont pas été capables de constituer de réserves suffisantes pour le renouvellement des matériels. On tente de contourner ces difficultés :

- En empruntant systématiquement les sommes nécessaires au renouvellement et en remboursant les emprunts et les intérêts,

c'est-à-dire en faisant face à l'amortissement financier sans se soucier de l'amortissement technique ;

- En réalisant l'amortissement financier et partiellement l'amortissement technique, ce qui permet d'avoir un autofinancement partiel au renouvellement ; ce second cas est séduisant sur le plan théorique, mais particulièrement difficile à réaliser.

Les prévisions d'utilisation annuelle sont très importantes pour un tracteur, on admet généralement 1000 heures, mais l'utilisation peut être plus faible. Les éléments de base permettant de calculer cette utilisation sont les temps nécessaires à la réalisation des différentes opérations avec les matériels considérés et les superficies cultivées.

4.3.2. Prix de revient réel

Le prix de revient réel s'établit après une opération en fin de campagne ou d'amortissement. Il faut faire attention aux erreurs dues à l'augmentation de réparations avec l'âge et la valeur des dépenses réelles lorsque la monnaie est instable. Le prix de revient réel est déterminé à partir des dépenses réelles et ne prend la valeur que par rapport aux références dans lesquelles il a été établi. La méthode de calculs est la même que le prix de revient prévisionnelle. On donne tout simplement les valeurs réellement constantes durant la période de référence. Ces valeurs doivent être relevées dans le carnet de bord et de suivis.

Le carnet de bord suit le matériel dans ces déplacements. Il prend en compte le type et les caractéristiques de travaux à effectuer, leur importance (superficie, poids, distance) la durée du travail les consommations en carburant et lubrifiant et la réparation et l'entretien (durée, temps, produit utilisé).

Le carnet de suivis (ou registre) reste au niveau de l'exploitation ou de l'entreprise et raflette la vie des matériels. Il comprend :

- Les renseignements généraux, c'est-à-dire la date et le prix d'achat, les frais de mise en route, la valeur du stock des pièces, l'adresse du fournisseur... ;
- Les relevés de travaux par campagne (ou par année) : réparation, carburant, lubrifiant, main d'œuvre, transport ou frais divers, recette pour la prestation rémunérée.

Exemple de calcul

Les exemples suivants, basés sur des prix estimatifs de 1990, doivent être considérés comme une présentation de méthodes de calculs. Les données et les résultats présentés ne sont pas transposables en **l'état à de cas précis**. On s'intéressera au cas d'une machine seule (un offset), d'un tracteur ou d'un automoteur (une moissonneuse batteuse) et d'un

chantier (un tracteur et une charrue). Dans tous les cas nous prenons l'amortissement comme une charge variable, fonction du nombre d'heures travaillées annuellement.

a. Cas d'une machine seule

Comme hypothèse de travail, nous prenons le cas d'un pulvérisateur sur chassies autoporteur de 24 disques (12 crénelé à l'avant, 12 lisses à l'arrière) acquit et fonctionnant dans les conditions ci-dessous. Les coûts d'utilisation horaire sont présentés dans le tableau 21.

Les modalités d'acquisition :

- Prix d'achat, y compris les frais de mise en route = Pa.....40 000FF
- La machine n'est pas assurée = Kas.....Pm (pour mémoire)
- Aucun abris spécifique n'est construit= Ka..... Pm
- Taux d'intérêt pratiqué = Ti15 %

Les caractéristiques de fonctionnement

- Durée de vie = Dvie.....4 000 heures
- Frais de réparation, en % du prix d'achat =Kr.....50%

Les performances annuelles et aux champs :

- Temps de travail annuel en jours.....100 jours
- Temps de travail journalier en heures8 heures
- Temps de travail en heure = Han..... 800heures
- Performance au travail1 h/ha.

TABLEAU 21 : EXEMPLE DU COUT HORAIRE D'UN PULVERISEUR.

Détail des charges Montant (FF/ h)	Formules	
Frais fixes Han) 3,75	Intérêt capital	$(Pa \times Ti) / (2X$
Primes d'assurances	$(Kas \times Pa) / Han$	Pm
Charges d'abri	$(Ka \times Pa) / Ha$	Pm
Impôts et taxe		Pm
Frais variables 10,00	Amortissement	$Pa / Dvie$
Entretien et réparations	$(Pa \times Kr) Dvie$	5,00
Frais généraux	frais divers	

Pm
Prix de revient horaire (FF)
18,75

b. Cas d'un automoteur

Prenons le cas d'une moissonneuse-batteuse appartenant à une organisation de producteurs. Cette machine de 120 ch. et 4,2 m de largeur de travail a été acquise et est utilisée dans les conditions présentées ci-dessous. Le coût d'utilisation horaire est présenté dans le tableau 13.

Les modalités d'acquisition :

- prix d'achat, y compris les frais de mise en route = Pa500 000 FF
- La machine est assurée en pourcentage du prix d'achat/ année : Kas.....1%
- Aucun abri spécifique n'est construit = Ti15%

Les caractéristiques de fonctionnement :

- puissance moteur = Pu120 ch.
- Prix du gasoil = Pg.....5 FF/ l
- Consommation en gasoil = Cg = Pu x 0,12 l / ch/ h.....14,4 l/h
- Prix moyen des lubrifiants = Pl.....20 FF / :
- 5 personnes pour les fonctionnements = Sp.....200 FF / j(Chauffeur, apprenti, mécanicien, pointeur, gestionnaire)
- frais de réparation sur la durée de vie en pourcentage du prix d'achat...50%
- durée de vie = Dvie.....3 500 h
- frais divers : déplacements personnels, matériels d'accompagnement = Fg...100FF/j

Les performances :

- temps de travail annuel en jours.....80 jours
- durée de fonctionnement par jour en heures..... 6 heures
- temps de travail annuel en heure= Han.....480 h
- performances au champ en ha / heure..... 0,4 ha/ h

TABLEAU 22 : EXEMPLE DE CALCUL DU COUT HORAIRE PREVISIONNEL D'UNE MOISSONNEUSE BATTEUSE

Détail des charges	formules	montant (FF/ h)
Frais fixes	intérêt capital (Pa x Ti) / (2xhan)	78,12
	Primes d'assurances (kas x Pa)/Han	10,42
	Charges d'abri (Ka x Pa)/ han	Pm
	Impôts et taxes	Pm
Frais variables amortissement pas/ Dvie		142,26
Etretien et réparation (PaxKr)/Dvie		71,43
Carburant Pu x 0,12 l/ch/h x Pg		72,00
Lubrifiants Cg x0,045 x PI		12,96
Personnel : salaires annuels versé sur le nombre d'heures d'utilisation Sp / Han ;		33,33
Frais généraux	Fg 0,20 prix de revient horaire (FF)	421,32

Pour déduire le prix de revient par hectare, on divise le prix horaire par la performance (0,4 ha/heure dans notre cas), ce qui donne un prix de reviens par hectare de 1053,30 FF.

c. Cas d'un chantier

Prenons un tracteur avec un pulvérisateur appartenant à un entrepreneur. Le tracteur de 100 ch n'est utilisé qu'avec un Cover crop de 24 disques. Pour les modalités d'acquisition du Cover crop, voir le cas de l'achat d'une machine seule. Les hypothèses ci-dessous ne concernent que le tracteur. Le cout horaire est présenté dans le tableau 24.

Les modalités d'acquisition du tracteur :

- prix d'achat y compris les frais de mise en route : Pa..... 250.000 FF
- Lies matériels ne sont assurés : Kas..... Pm
- Aucun abri spécifique n'est construit : Ka..... Pm
- Taux d'intérêt pratiqué : Ti 15 %

Les caractéristiques de fonctionnement :

- Puissance moteur diesel :Pi :.....100ch
- Prix du gasoil : Pg 5 FF/Litre
- Consommation en gasoil : Cg = Pu x 0,12L/ch/..... 12 L/h
- Prix moyen des lubrifiants : PL 20 FF/L
- Deux personnes pour le fonctionnement : Sp..... 100 FF/j (Chauffeur et mécanicien)
- Frais de réparation : % du prix d'achat du tracteur sur la durée de vie = Kr 50%
- Durée de vie = Dvie 6.000 h
- Frais divers : déplacements personnels, Matériels d'accompagnement = Fg50 FF/j

Les performances annuelles et au champ :

- temps de travail annuel en jours 100 j
- durée de fonctionnement par jour en heures 8 h
- temps de travail annuel en heures =Han 800 h

TABLEAU 24 : CALCUL DES COUTS PREVISIONNEL D'UN CHANTIER DE TRAVAIL DU SOL

Détails des charges		Formule	Montant ff /heure		
			Tracteur	Cover crop	Ensemble
Frais fixes	Intérêt du capital	$(Pa \times Ti) / (2 \times Han)$	23,43	3,75	27,28
	Primes d'assurances	$(Kas \times Pa) / Han$	Pm	Pm	Pm
	Charges d'abri	$(Kax \times Pa) / Han$	Pm	Pm	Pm
	Impôts et taxes		Pm	Pm	Pm
Frais variables	Ammortissement	$Pa / Hvie$	41,67	10,00	51,67
	Entretien,				

	réparations	Pax Kr/Hvie	20,93	5,00	25,83
	Carburant	Pu x 0,12L/ch/hx Pg	60,00	0	60,00
	Lubrifiants	Cgx0,045xPL	10,80	0	10,80
	Salaires annuels				
	Versés	Sp/Hj	12,50	0	12,50
	Frais généraux	Fg	0	0	0
	Prix de revient horaire		169,23	18,75	188,08

Le prix de revient par hectare est égal au cout horaire divisé par le rendement du chantier (1ha/heure, dans notre cas), soit un prix de revient par hectare de 169,23 FF

DEUXIEME PARTIE : LA MECANISATION DES CULTURES CONGOLAISES

CHAPITRE I : PLANTES RACINES ET TUBERCULES

1.2. LE MANIOC (*Manihot esculenta* CRANTZ)

1.1.4. Mécanisation de la culturale

Les opérations culturales sont indépendantes les unes des autres. Cependant, en cas de récolte mécanique, une plantation en ligne et à une profondeur constante est préférable pour minimiser les pertes. On aura alors le choix entre un billonnage mécanique associé à une plantation manuelle, ou l'utilisation d'une planteuse mécanique.

1.1.4.1. Préparation du sol

La préparation du sol a pour objet de limiter le développement des adventices, l'amender le profil dans lequel vont se développer les racines assimilatrices et les racines de réserves, et d'affiner le sol en surface pour assurer un bon contact entre la terre et les boutures.

Le sous - solage est utile quand il est nécessaire d'améliorer le drainage des horizons superficiels du sol, ou encore dans ceux où, à cause de techniques culturales antérieures ou de conditions naturelles, le sous - sol s'oppose à la pénétration des racines.

On limite généralement le labour aux sols lourds, dans des conditions hydriques et/ou minérales défavorables. Il pourra être adopté en cas d'enherbement important. Dans les autres cas, le travail peut être réduit au minimum (désherbage, lit de plantation, incorporations diverses), généralement obtenu par un ou plusieurs passages d'offset. L'emploi d'outils à dents est souvent préférable dans le cas de sols à dominance argileuse, afin d'éviter la constitution d'une semelle de labour. On plantera sur billon si le sol est mal drainé, de texture lourde et si le climat est fortement pluvieux. Dans le cas de stress hydrique très marqué, la

plantation pourra se faire dans le creux des billons ou dans des sillons profonds. A noter que le billonnage, s'il facilite la récolte, peut provoquer des diminutions de production. Dans les conditions normales, on préférera la plantation à plat qui est moins coûteuse, quel que soit le système de culture.

1.1.4.2. Plantation

Les boutures de manioc sont prélevées dans une ancienne culture. Chaque branche récoltée peut fournir 3 ou 4 boutures de 20 à 25 cm. Un hectare de manioc permet de planter au moins 10 hectares.

Les boutures sont généralement coupées et tronçonnées à la main. Il existe cependant des coupe-boutures qui débitent les tiges récoltées. Si le gain de temps est appréciable, le problème est de retrouver le sens des boutures quand on les ramasse. En effet, dans le cas de boutures positionnées de façon plus ou moins verticale, une plantation inversée provoque une chute de rendement importante pouvant aller jusqu'à 30 %. En position verticale, une seule longue tige se développe généralement à l'extrémité apicale, alors que les positions inclinées provoquent le développement de plusieurs tiges courtes. Les boutures non complètement enterrées sont plus sujettes à dessiccation et de moins bonne reprise dans des conditions de pluviométrie limitées. A l'inverse, en plantation à plat, sur sol pouvant être engorgé par des fortes pluies, les boutures verticales sont préférables.

L'optimum de densités se situe entre 10 000 et 20 000 pieds à l'hectare selon la vigueur de la variété et les conditions de milieu ou de culture. L'écartement entre lignes varie entre 1 m et 1,2 m, et celle sur la ligne entre 0,80 m et 1 m.

Traditionnellement les paysans plantent le manioc au début de la saison des pluies, mais dans certains cas, les plantations sont étalées toute l'année. Dans les systèmes mécanisés où un certain étalement des bouturages est nécessaire et où les récoltes doivent être effectuées toute l'année, on peut recommander de grouper une partie des bouturages à la période la plus favorable pour les parcelles à récolte précoce, et à une époque plus tardive pour celles dont la durée de végétation doit être plus longue. Les expériences de mécanisation des plantations sont limitées et une solution simple consiste à ouvrir mécaniquement un sillon dans le sol ; les boutures y sont déposées et recouvertes manuellement.

Les premiers matériels utilisés pour la plantation du manioc ont été des replanteuses à alimentation manuelle, à pinces ou à disques, conçues pour le repiquage des plants de légumes. Bien que ces appareils donnent satisfaction, leur manque de robustesse pour les pays tropicaux, où la préparation du sol n'est pas aussi poussée, cela a conduit à mettre au point des appareils spécifiques.

On trouve deux types de planteuses de manioc :

- les planteuses déposant les boutures à plat au fond du sillon;
- les planteuses déposant les boutures verticalement ou de façon inclinée.

Les planteuses déposant les boutures à plat au fond du sillon

Les planteuses déposant les boutures à plat au fond du sillon sont issues des planteuses de cannes à sucre (figure 1). Les boutures placées manuellement dans le barillet tombent directement dans le sillon ouvert par un soc. Elles sont recouvertes, ensuite, par un jeu de disques placé à l'arrière de la machine.

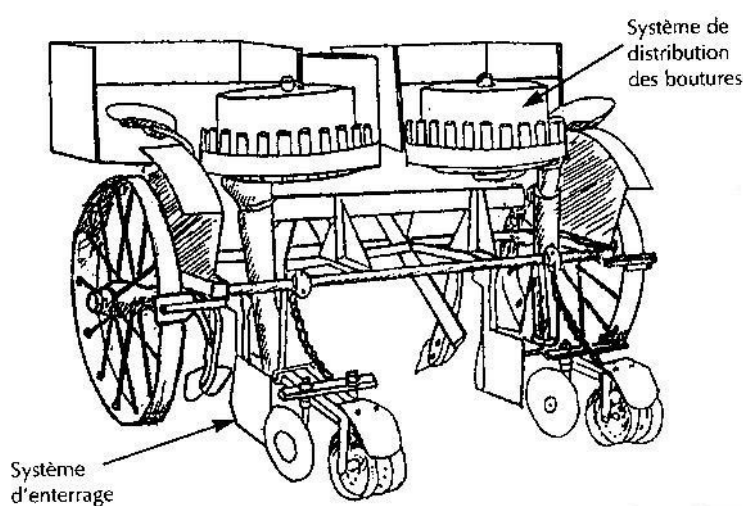


Figure 1. Planteuse brésilienne de boutures de manioc à plat.

Le barillet est entraîné par les roues porteuses; la quantité distribuée est donc directement proportionnelle à l'avancement. Le réglage de la densité s'effectue en jouant sur la vitesse de rotation du barillet. Il s'obtient par le choix de jeux de pignons appropriés. Les temps de travaux pour une planteuse deux rangs se situent autour de 2 h/ha.

Les planteuses déposant les boutures verticalement ou de façon inclinée

Les planteuses déposant les boutures verticalement ou de façon inclinée utilisent le principe de repiqueuses de plants maraîchers (figure 2) : les boutures sont déposées tête en bas des alvéoles placées sur un disque en rotation. Elles sont maintenues en place par un carter qui s'efface à la partie inférieure, la bouture tombe dans le sillon avec l'inclinaison qu'avait l'alvéole au moment de la chute. Un système de roues plumbeuses maintient la bouture en place tassant le sol de côté. On joue sur la profondeur de travail du sillonneur pour fixer la partie de la bouture qui va

chuter dans le sillon, jouant sur la position du carter de maintien des boutures dans les alvéoles. Disque portant les alvéoles sont entraînés par les roues plumbeuses. Nous avons à faire, ici aussi, à une distribution proportionnelle à l'avancement l'inconvénient de ce type de planteuse qui est l'obligation de repérer le sens de bouture de façon à bien la positionner dans le sillon pour éviter des baisses le rendement. Les temps de travaux tournent autour de 5-7 h/ha. Enfin, les planteuses peuvent être équipées d'un système de distribution de l'engrais.

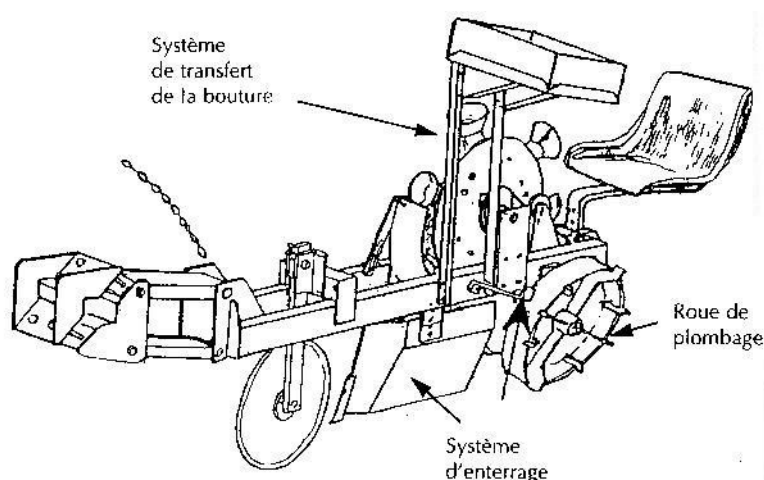


Figure 2. Planteuse de bouture de manioc en position verticale.

1.1.4.3. Epandage d'engrais

Bien que le manioc réponde peu à la fertilisation, le principe de restitution des exportations est à respecter. On apporte ainsi le phosphore et la potasse au moment de la préparation du sol ou de la plantation ; l'azote sera répandu plus tard (2 à 3 mois). On épand ce dernier généralement sur toute la surface du sol ; des appareils classiques (porté, centrifuges ou pendulaire) peuvent être employés quand la topographie et la végétation le permettent

1.1.4.4. Entretien.

Le mode de plantation à plat ou en billons conditionne les techniques de désherbages ultérieurs lorsque celles-ci sont mécaniques. On peut utiliser, selon les cas, des lames sarcleuses ou des bineuses à lames ou à disques. IL faut se rappeler qu'un tracteur ne pourra plus entrer dans un champ de manioc au delà du troisième mois environ. Il en est d'ailleurs de même pour les traitements herbicides quand ils sont appliqués en cours de végétation. IL existe cependant des herbicides de prélevée qui sont épandus juste après la plantation. IL est conseillé, à ce moment, de ne pas butter les plants pour éviter de déplacer l'herbicide vers les pieds de manioc et de réduire ainsi son action dans l'interligne. Enfin, il faut rappeler qu'après 3 ou 4 mois, le feuillage de manioc couvre tout le sol, et

que s'il a été maintenu propre jusqu'à cette période, il le restera en grande partie jusqu'à la récolte.

Les appareils utilisés sont des pulvérisateurs classiques pour l'épandage sur sol nu. Dans le cas de traitement en cours de végétation, il sera nécessaire de se servir de systèmes de localisation du produit afin de ne pas toucher les feuilles. Cependant, c'est un cas de figure rarement rencontré, les traitements en cours de végétation étant le plus souvent effectués avec des appareils à dos.

1.1.4.5. Récolte

La récolte peut être largement étalée dans le temps : elle s'effectuera entre 10 et 20 mois en moyenne après la plantation. Dans des conditions normales, les racines ne se conservent que 24 à 48 heures. L'époque de la récolte est donc essentiellement déterminée par la destination de cette récolte ; le processus de récolte comprend quatre opérations: l'enlèvement des tiges et feuilles, le soulèvement des racines, la séparation de la terre, le chargement et le transport.

a. Tiges et feuilles

L'enlèvement des tiges et des feuilles est généralement effectué à la main en utilisant un coupe-coupe. Les tiges peuvent être utilisées comme boutures pour une nouvelle plantation. Des broyeurs forestiers peuvent réaliser l'opération. Ils laissent le sol un tapis de particules que l'on ne trouvant pas le soulèvement mécanique ultérieur. C'est un point important à considérer car l'utilisation de broyeurs de type « gyrobroyeur laissent des morceaux importants après le passage et gêne l'opération suivante de soulèvement de plus ces morceaux se comportent comme une bouture et s'enracinent, ce qui amène des perturbations pour la culture suivante.

Les temps de travaux sont de l'ordre de 3 à 4 heures/hectare.

L'utilisation de broyeurs frontaux, dont le rotor tourne en « échappant » et est muni de fléaux type en cuiller, lourds, a été testé avec succès et peut être conseillé pour motoriser cette opération.

b. Soulèvement des racines

Les premiers essais de mécanisation du soulèvement ont eu lieu avec des charrues lourdes; la technique nécessitait une reprise manuelle de secouage et d'alignement des racines. Des sous-soleuses à ailes ont aussi été utilisées. Ces techniques, bien que rudimentaires, évitaient, en terrain lourd, l'emploi de main-d'oeuvre pour une opération pénible et longue.

c. Séparation de la terre

La séparation de la terre est effectuée après le soulèvement. Elle consiste à sortir les racines du sol et à les aligner en regroupant plusieurs rangs pour

faciliter le ramassage ultérieur. Actuellement, des constructeurs proposent des matériels spécifiques effectuant le soulèvement et le secouage.

On trouve trois types de Machines :

- *Les machines à barres secoueuses à mouvement alternatif*
- *Les souleveuses à tapis secoueurs*
- *Les machines à courroies.*

Les machines à barres secoueuses à mouvement alternatif sont composées d'une lame prolongée par des barres mises en mouvement par la prise de force. Les racines sont soulevées puis séparées de la terre avant d'être déposées sur le sol, derrière la machine (figure 3).

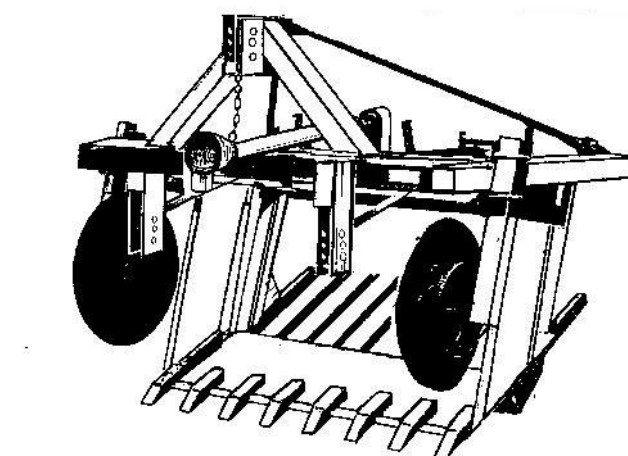


Figure 3. Souleveuse Cmd (Card. - Mouzon - Delfosse)

Les souleveuses à tapis secoueurs issues de récolteuses de pommes de terre fonctionnent sur le même principe que les machines à barres secoueuses, la réalisation étant plus solide. Les racines, une fois soulevées, sont reprises par un tapis à barrettes qui permet de dégager la terre (figure 4), elles sont ensuite déposées à l'arrière de la machine directement sur le sol avant la reprise pour chargement. Si, dans des conditions de récolte normales, ces machines laissent assez peu de restes en terre, elles ont l'inconvénient de blesser les racines, ce qui interdit leur utilisation en frais ce qui oblige à une transformation rapide. C'est pour pallier à ce défaut que l'université de Leipzig a conçu une machine permettant de soulever les racines sans les blesser.

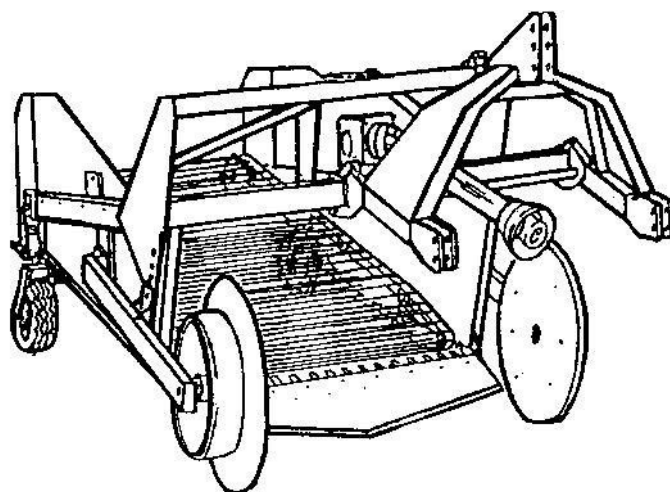


Figure 4. Souleveuse Api (Agri Projects International Ltd).

Les machines à courroies utilisent le principe des récolteuses de légumes: les tiges sont coupées 20-25 cm du sol, la récolteuse soulève légèrement le pied de manioc en éclatant la terre, et à ce moment les tiges sont pincées entre deux courroies inclinées. Les racines sont extraites de la terre et déposées à l'arrière de la machine (figure 5). La qualité des racines équivaut à celle de la récolte manuelle. Le problème qui persiste à l'heure actuelle est l'impossibilité d'utiliser des machines pour le broyage des parties aériennes, le système de récolte nécessitant la présence d'une seule tige pour que la préhension, au niveau des courroies, s'effectue sans problème. Le rendement de chantier pour une machine 1 rang sont sensiblement identiques pour les trois types : 5 à 7 heures / hectare.

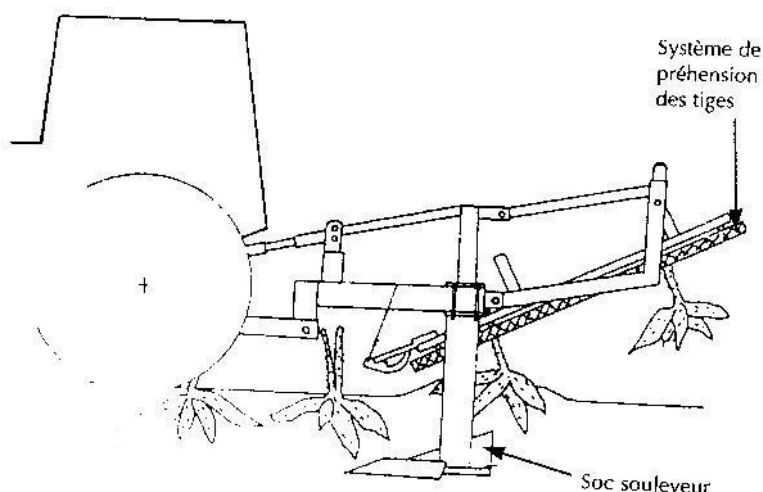


Figure 5. Souleveuse de l'ITI (Institut für Tropische Landwirtschaft)

1.1.4.6. Chargement et transport

Il n'y a pas de matériel spécifique pour l'opération de chargement. On peut imaginer que, pour des complexes industriels, des équipements betteraviers puissent donner satisfaction. En ce qui concerne les transports, les remorques classiques sont tout à fait adaptées.

Un constructeur brésilien (Lorenz) propose, à l'instar des équipements betteraviers, une Souleveuse - chargeuse traînée derrière un tracteur, à l'avant duquel est placé un broyeur. Dans les meilleures conditions de travail, elle récolte et charge un hectare en 4 heures. Ce matériel est exclusivement destiné à des complexes agros - industriels.

1.1.4.7. Transformation

Dans la quasi - totalité des pays producteurs, excepté la Thaïlande, le manioc est utilisé principalement pour l'alimentation humaine. Dans ces pays généralement humides, il est une source importante d'aliments glucidiques dont les formes de consommation sont diverses : le manioc est consommé cru ou cuit ou après transformation. Les procédés de transformations sont variés, ils font généralement intervenir les opérations suivantes:

- épluchage souvent associé au lavage ;
- râpage ;
- essorage;
- émiettage et défibrage ;
- broyage;
- séchage.

Le traitement de la pulpe par rouissage ou par cuisson est nécessaire dans le cas de manioc dits « amers » qui contiennent des composés *cyanogénétiques*. Le rouissage consiste en une fermentation en milieu aqueux. Il permet la dégradation des produits toxiques qui sont alors évacués soit dans l'eau environnante soit dans le jus de presse.

Les matériels mis au point et utilisés pour la production artisanale (par opposition à la production Industrielle), sont souvent issus de matériels manuels. Le Brésil et l'Afrique centrale, notamment le Ghana et le Nigeria, ont été les premiers à développer des matériels à moteurs. On trouvera principalement des râpe permettant le traitement des racines crues épluchées. Les presses pour le jus fermenté sont encore actionnées manuellement. Il existe des modèles motorisés mais ils ont plutôt une vocation semi - industrielle et industrielle.

Des tamis animés par moteur existent dans certaines régions, ils sont quelquefois, associés à d'autres machines (émietteurs ou broyeurs).

a. Epluchage - lavage

Peu de produits de transformation utilisent les racines de manioc sans les éplucher.

Les opérations d'épluchage et de lavage sont rarement mécanisées. La qualité de l'épluchage conditionne généralement celle du produit fini. Si l'épluchage doit être parfait, il n'y a pas de machine artisanale utilisable.

Récemment, des matériels issus de machines industrielles ont été proposés, mais ils restent chers et de plus, dangereux. L'éplucheuse construite par Bertin est un tambour cylindrique conçu sur le principe de la machine à faire les frites (figure 6). Lorsque la qualité de l'épluchage n'est pas un critère recherché, les traditionnels tambours - laveurs - éplucheurs sont utilisables.

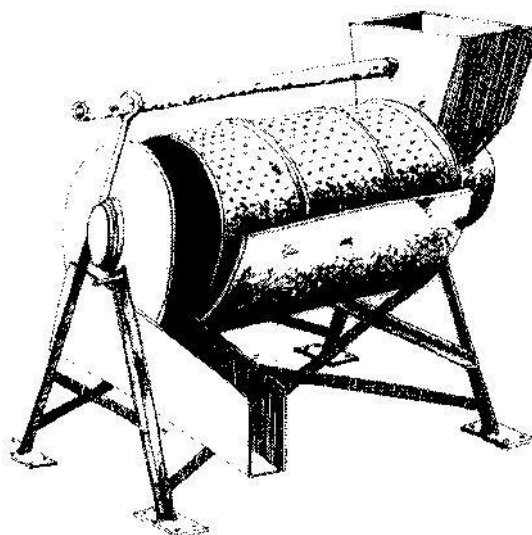


Figure 6. Machine à éplucher motorisée (document Unifem)

b. Râpage

Les râpes sont employées pour réduire les tubercules de manioc après épluchage et avant leur mise en fermentation (fabrication du gari, de la farina...).

Leur conception sur lequel on vient appuyer les racines de manioc. Ce dernier est progressivement déchiqueté. Dans les modèles plus élaborés, un

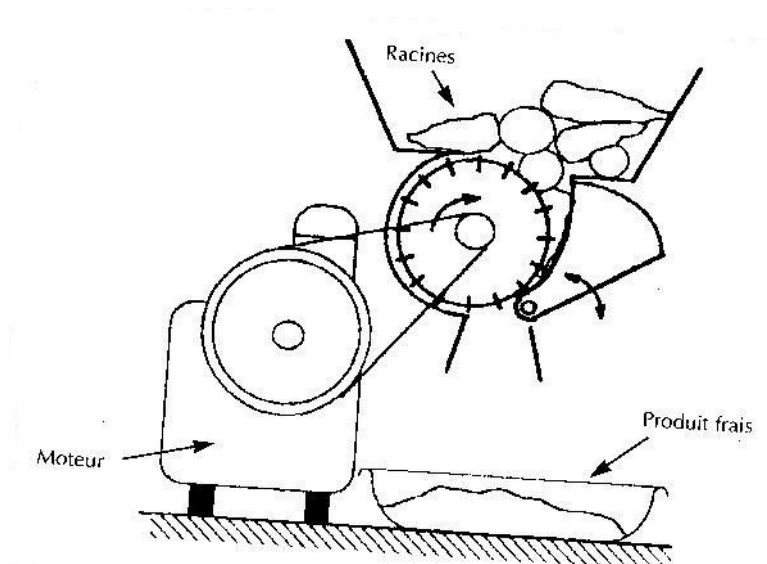


Figure 7. Râpe à tambour (document ceremat)

Système de pression permet le maintien de la racine sur la râpe. Il existe certains modèles dont le tambour est remplacé par un disque (figure 8). Ce dernier type peut être construit plus facilement par les artisans locaux.

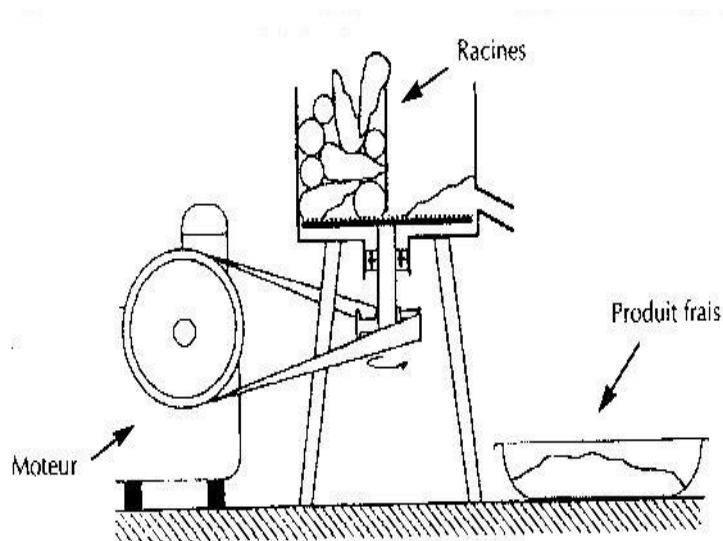


Figure 8 : râpes à disque (document CEEMAT)

c. Essorage

L'essorage artisanal s'effectue avec des manuels « évoluées ». Il s'agit souvent d'un cric hydraulique qui permet de compresser le produit humide sans gros effort (figure 9). Certains matériels semi-industriels ont été mis au point par des constructeurs européens, mais ils restent très peu employés.

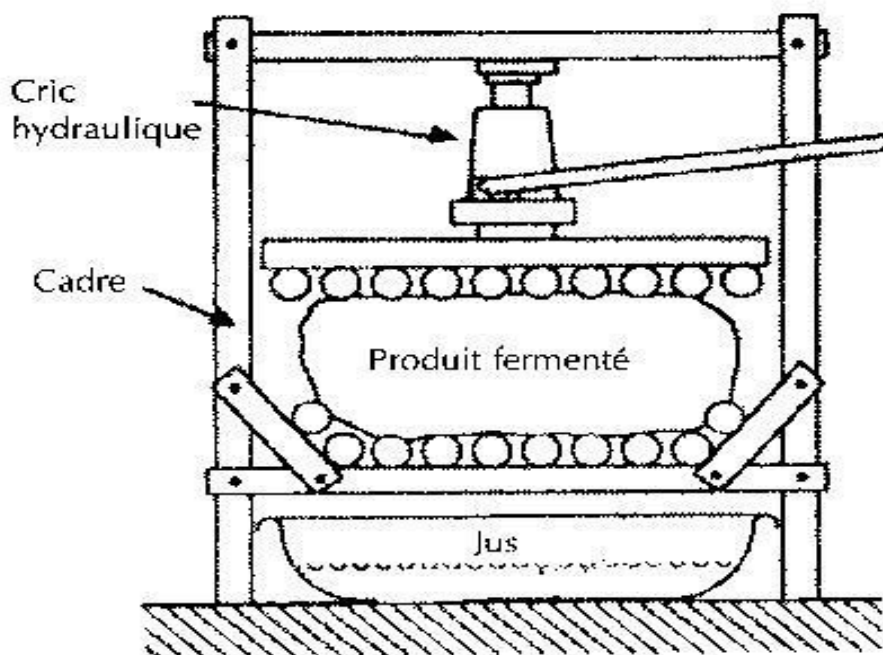


Figure 9. Presse hydraulique (document CEEMAT)

d. Émiettage et défibrage

Les machines d'émiettage et de défibrage ont pour objet d'émietter le « gâteau » obtenu. L'émiettage se fait après pressage et dans le but d'en extraire les fibres. L'émiettement est réalisé par un tambour rotatif sur lequel le gâteau est pressé (figure 10). Le produit tombe ensuite sur un tamis qui sépare la farine des fibres et des morceaux. Ce tamis est généralement actionné par un système bielle - manivelle à partir d'un moteur. L'astuce consiste, lorsque l'on utilise un moteur thermique, à solidariser le tamis au moteur par une pièce adéquate pour le mettre en action. On utilise ainsi parfois un moteur, mais on s'affranchit surtout du système Bielle - manivelle toujours délicate.

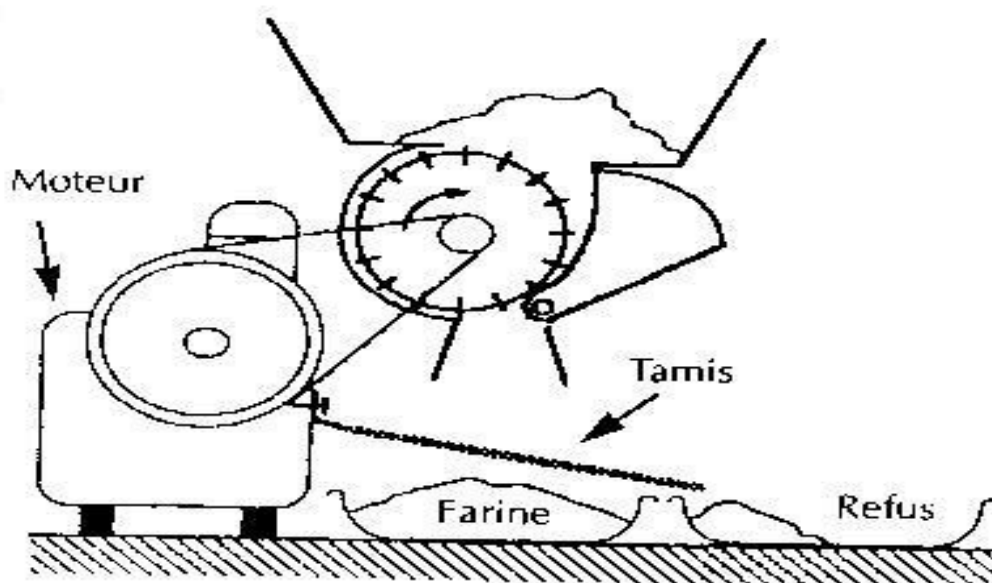


Figure 10. Défibreur associé à un moteur diesel (Document CEEMAT).

e. Broyage

Le broyage de produits solides est réalisé avec des matériels classiques tels que

Les broyeurs à marteaux (préparation du fougou).

CONCLUSION

Le manioc est avant tout une culture destinée à être autoconsommée en production paysanne. Cependant, on peut penser que dans un premier temps, le besoin d'alimenter les villes induira une mécanisation et une motorisation de certains postes de la filière. Les matériels de transformation des produits sont déjà en cours de développement. Si la demande continue à s'accroître, l'intervention de matériels agricoles dans le processus de production peut s'imaginer. Il s'agira d'abord et surtout d'équipements « standard » déjà utilisés sur d'autres cultures (charrue, billonneuse...). L'utilisation d'équipement spécifique est difficilement imaginable hors d'un complexe agro - industriel, pour des raisons de rentabilité. Néanmoins, la pratique des paysans associés qui livrent une partie de leur production à l'usine, en échange de prestations de service motorisées, permet d'envisager l'utilisation de ces matériels à l'échelle des paysans. Ce type de complexes se développera avec des produits des exportations issus du manioc. Il est difficile d'évaluer aujourd'hui l'avenir de ce marché.

CHAPITRE II : LES CEREALES

2.1. LE MAÏS (*Zea mays* L.)

2.1.4. Mécanisation de la culture

A partir des situations existantes, on peut distinguer deux grands types de motorisation de la culture du maïs. **Le premier concerne les systèmes entièrement motorisés avec des équipements de motorisation conventionnels, où le recours à la main d'œuvre est extrêmement limité.** C'est le cas dans les systèmes intensifs des pays industrialisés, dans les très grandes exploitations, les projets et agro-industries de certains pays en développement. **Le second type prend en compte les systèmes mixtes où l'on rencontre différentes combinaisons entre les opérations réalisées manuellement, avec la traction animale et la motorisation.** C'est souvent le cas dans les exploitations traditionnelles des pays en développement.

Traiter séparément ces deux cas amènerait beaucoup de répétitions. Par contre, à l'intérieur de ces systèmes, des itinéraires distincts, faisant appel à des matériels spécifiques, sont intéressants à aborder séparément:

- la mise en place et l'entretien de la culture, c'est-à-dire les travaux de préparation du sol, la fertilisation, le semis et les traitements phytosanitaires ;
- la récolte, le battage et le stockage ;
- la transformation.

2.1.4.1. Préparation du sol

Le maïs est sensible à la structure du sol. On cherchera donc avec le travail du sol à réaliser une structure grumeleuse. On évitera la formation de semelles de labour, la prise en masse du sol en profondeur dans les sols limoneux, et la formation de terres soufflées qui perturbent la croissance des racines. Avec les façons superficielles, la présence de terre trop fine est déconseillée. Elle risque de provoquer une battance superficielle très dangereuse lors de la levée.

Deux types d'itinéraires peuvent être mis en évidence. Le premier est un labour

suivi d'une ou plusieurs reprises d'affinage du lit de semences en vue du semis mécanique. La seconde repose sur un travail minimum du sol (soit sur toute la surface, soit sur la ligne de semis) suivi d'un semis direct. Ce travail minimum est le plus souvent réalisé au moment du semis. Le non travail du sol n'est possible que sous certaines conditions: couvert végétal réduit, pas d'enfouissement de matière organique, traitement herbicide préalable...

a. Enfouissement de matière organique

Très utilisée dans les zones d'élevage, la fumure organique est épanchée avant les préparations du sol avec des épandeurs pour les solides (fumiers pailleux par exemple) et avec des citernes pour les liquides (lisiers, purins)

b. Préparation du sol

Rencontre des préparations du sol profondes à base de labour ou de travail au chisel, et des préparations superficielles à base d'outils à disques (**cover crop**) ou de cultivateurs.

En préparation profonde du sol, on cherche un labour motteux à environ 25 cm de profondeur. Un profil cultural approprié s'obtient assez facilement pour les parties superficielles retravaillées, mais plus difficilement pour les couches intermédiaires et profondes. Le labour est recommandé dans le cas d'enfouissement de matière organique. On utilise soit des charrues à socs avec de préférence des versoirs hélicoïdaux, soit des charrues à disques, mais en choisissant un angle d'entrure faible et une vitesse d'avancement réduite pour limiter l'émiettement. Le labour devra être dressé, notamment lorsqu'on enfouit beaucoup de résidus végétaux, pour éviter de former en profondeur une couche de matière organique continue qui gênerait d'une part la pénétration des racines, d'autre part qui risquerait de les asphyxier.

Le travail au chisel à environ 25-30cm de profondeur permet de briser d'éventuelles semelles de labour et donne un aspect motteux en surface. Il est surtout intéressant quand le sol est nu en surface. Il peut dans certaines conditions de sols précéder un labour.

La surface motteuse laissée par un labour ou un passage de chisel doit être affinée. On utilise des cultivateurs rotatifs qui procurent à la fois nivellement et émiettement, ou des cultivateurs à dents souples suivis éventuellement de passage de hermes et de rouleaux. Avec les cultivateurs rotatifs à axe horizontal, la taille des mottes et l'émiettement dépendent de la dimension des bèches, de leur nombre par flasque, de la vitesse de rotation de l'arbre et de la vitesse du tracteur : 150 à 200 tours/mn pour l'arbre et une vitesse de 2 à 4 km/h donnent un émiettement fin, tandis qu'une vitesse de 4 à 6 km/h donne un émiettement plus grossier. Sur les modèles à axe vertical (**hermes rotatives**), les dents travaillent la terre sans déplacement longitudinal. Une séparation entre les mottes de différents grosseurs s'effectue naturellement, les plus petites venant se placer entre les plus grosses : une herse roulante, située derrière le cultivateur, finit d'éclater les mottes les plus grosses afin de réaliser un lit de semences à structure homogène. Combinés avec un semoir, ils permettent de diminuer le nombre de passages, donc d'éviter un tassement excessif. Les combinaisons d'outils sont de plus en plus utilisées (figure 11).

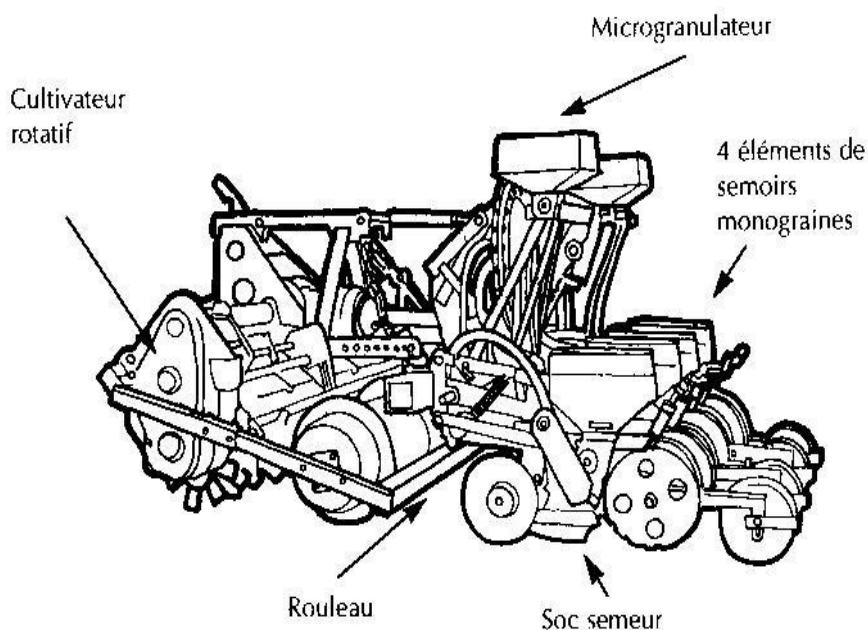


Figure 11. Outil combiné de travail du sol et de semis.

Le travail superficiel du sol est réalisé par des outils à disques (**cover crop**) ou des cultivateurs rotatifs qui travaillent à moins de 15 cm de profondeur. Ils ne permettent pas d'effectuer un bon enfouissement de la fumure organique. Ce travail préliminaire est parfois suivi d'un travail d'émiettage effectué avec un cultivateur rotatif à axe horizontal (type **rotavator**) ou à axe vertical (**herse rotatives**), ou encore avec une herse animée (herse alternative). Le tassement, souvent nécessaire est réalisé avec des rouleaux cages. Les travaux superficiels consistent d'abord à niveler le sol par un passage de cultivateurs légers à dents rapprochées, travaillant très superficiellement (moins de 10 cm), suivi d'un tassement effectué soit avec un croskill ou un **cultipacker** (tassement jusqu'à 10cm) ou avec une **croskilllette** (tassement limité à quelques centimètres seulement). Dans certaines terres très sensibles au tassement, il peut être important de travailler avec des tracteurs équipés de roues jumelées ou de roues-cages.

c. Fumure minérale

Les engrais minéraux sont épandus avant le semis pendant les préparations de sol avec des épandeurs centrifuges ou pneumatiques portés sur tracteurs pour les engrais pulvérulents et granulés ternaires. Une partie de la fumure azotée est distribuée au moment du semis avec des localisateurs montés sur les semoirs. Des compléments d'azote sont parfois apportés en cours de culture avec des épandeurs centrifuges ou pneumatiques. La hauteur de la culture limite rapidement le passage des tracteurs.

2.1.4.2. Semis

Contrairement aux céréales à paille, le maïs ne talle pas. A chaque grain correspond, si la levée est correcte, une tige et une seule. La densité de semis conditionne donc la population finale. L'objectif à atteindre est un peuplement optimal pour un rendement par hectare maximum. La densité dépend de nombreux facteurs : richesse du sol, climat, mais aussi variété et système de culture, en sec ou en irrigué.

En culture sèche, les peuplements vont de 40 000 pieds/ha pour les variétés tardives à 75 000 pieds/ha pour les variétés précoces. En culture irriguée, ils vont 55 000 pied/ha pour les variétés tardives à 90 000 pieds/ha pour les variétés précoces. En culture fourragère (ensilage), ils sont plus élevés (plus de 100 000 pieds/ha). L'écartement des rangs est compris entre 70 et 100 cm. Le poids de semences est compris entre 15 et 25 kg/ha pour des densités comprises entre 45 000 et 50 000 pied/ha.

Dans le cas de semis en poquets (qui ne sont pratiquement jamais réalisés en motorisation), on place 3 à 4 grains par poquets que l'on démariera par la suite pour ne laisser qu'une plantule.

Pour réaliser un semis monograin à profondeur constante, à écartement régulier sur la ligne et entre rangs, on utilise en culture à plat des semoirs mécaniques (à disques et à doigts) ou pneumatiques (à disques ou à doigts) à éléments séparés.

Dans ce dernier cas, le disque distributeur est le plus près possible du sol afin de réduire la hauteur de chute des graines dans un souci d'amélioration de la précision. Ces semoirs sont parfois combinés à des outils de reprise pour réduire le nombre passages de tracteurs.

Avec ces semoirs, les grains sont distribués un à un et placés en ligne de semis avec des écartements constants. Cette régularité de placement n'est possible qu'avec un lit de semis sans trop de mottes ni de débris végétaux. Sur les modèles mécaniques, les plus anciens encore utilisés dans les pays en développement et particulièrement en traction animale, il faut adapter les éléments de distribution au calibre des semences : on peut avoir plusieurs disques adaptés à des graines de calibres différents. Avec ces matériels, il est conseillé de ne pas dépasser 4 à 5 km/h, sous peine d'affecter la régularité de distribution. Les modèles pneumatiques assurent un travail comparable en rendant possible le semis de graines irrégulières. Ces semoirs peuvent travailler correctement jusqu'à 6-7km/h.

Les semoirs décrits délivrent la semence au fond de sillons parallèles, à profondeur constante pour lui conférer les conditions optimales de germination. On rencontre parfois des **semoirs monograines** à trémie centralisée et à transport pneumatique des graines, mais ils sont moins précis.

2.1.4.3. Entretien de la culture

Avec l'amélioration de la précision des semoirs et de la qualité des semences, le démariage a disparu dans les pays industrialisés, mais il est encore fréquent dans les pays en développement après des semis mécaniques réalisés avec des disques non appropriés et des semences de mauvaise qualité.

Le désherbage chimique se généralise avec des pulvérisateurs portés sur tracteur ou automoteurs, et peut être réalisé en pré ou en post-émergence. Les interventions en cours de cultures sont rapidement limitées par la taille du maïs.

La dimension des interlignes permet le désherbage mécanique avec des bineuses attelées sur tracteur. Dans les pays en développement, le désherbage mécanique est très répandu en traction animale, soit à plat avec des houes, soit en billons avec des corps butteurs.

Les traitements phytosanitaires contre les vers sont réalisés au semis, en localisé dans la ligne de semis avec des **microgranulateurs**, ou en association avec le traitement herbicide de pré-émergence.

a. Travail minimum du sol

Préparation du sol localisée

Sur sol propre (pas de végétation ni de fumier à enfouir), le travail du sol est réalisé sur le rang. En un seul passage, les outils réalisent l'émiettement (cultivateurs rotatifs à axe horizontal), le tassement (**herse roulantes**), et le semis, voire même l'épandage des engrais. Ces matériels autorisent des semis directement sur un ancien maïs dont les tiges ont été préalablement broyées ou sur une prairie désherbée chimiquement. Ils peuvent aussi être utilisés derrière un labour.

b. Semis direct

Le semis direct peut être mis en œuvre si l'humidité du sol est suffisante. Un traitement herbicide préalable est souvent nécessaire pour détruire la végétation en place.

Les semoirs utilisés sont équipés de disques ouvreurs plats ou gaufrés (figure 12). Ces disques créent une fente dans laquelle tombe le grain. En sol sec, la fente sera remplie par des petites mottes de 2 à 3 cm et d'un peu de terre fine qui va recouvrir la semence. En sol trop humide, les semences ne sont pas toujours recouvertes et peuvent être attaquées par les oiseaux. Il faut éviter avec ces matériels de travailler en conditions trop humides les sols argileux, car les disques ouvreurs provoquent un lissage des parois préjudiciable à la levée et à l'enracinement.

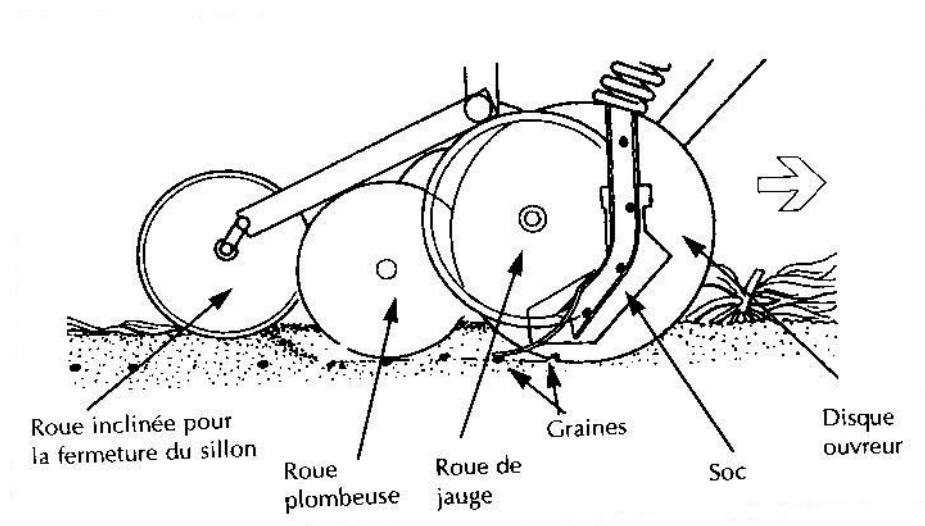


Figure 12. Eléments de semis direct.

2.1.4.4. Récolte

Suivant le mode de récolte du maïs, les chaînes d'équipements pour le battage, la transformation et les installations pour le séchage et le stockage sont spécifiques. Si l'on récolte la plante entière en vert comme fourrage pour l'alimentation animale (mécanisée). Elle est peu détaillée dans ce manuel car elle est très rarement pratiquée dans les pays en développement. La récolte en épis est une technique très répandue dans les pays en développement. Elle régresse dans les pays industrialisés au profit de la récolte en grain.

a. Récolte en vert

La conservation des fourrages par voie humide, ou ensilage, cherche à favoriser les fermentations lactiques anaérobies qui acidifient fortement le milieu, en limitant les autres fermentations nuisibles. Le matériel de récolte utilisé et l'organisation des chantiers ont une incidence très nette sur la qualité du produit final. Pour cela, il faut éliminer le plus d'air possible du silo en tassant le produit récolté avec des tracteurs. Cette opération est facilitée si le produit est haché en brins courts de quelques centimètres.

Une ensileuse, traînée par un tracteur ou automotrice, réalise les opérations de coupe et de hachage des tiges de maïs et est équipée d'une puissante soufflerie pour projeter le produit dans les remorques qui suivent l'ensileuse. Le transport du champ au silo est réalisé par des remorques de grande capacité car la densité de l'ensilage est faible (200 à 300 kg/m³). Pour éviter d'arrêter l'ensileuse, une attention particulière doit être apportée à l'organisation du chantier: il faut utiliser un nombre suffisant de remorques pour le transport et du matériel adapté pour la confection du silo.

b. Récolte en épis

b.1. Récolte et le stockage des épis

La récolte est réalisée manuellement dans la plupart des situations rencontrées dans les pays en développement. La présence de la rafle sur les grains empêche l'humidité de descendre à 12%, taux nécessaire à une bonne conservation. Dans certains cas, les épis sont déspathés, manuellement ou avec des épanouilleuses à poste fixe à moteur. Ils sont ensuite consommés directement ou stockés en sacs ou dans des structures spéciales (cribs) qui permettent la circulation de l'air entre les épis.

Sur une épanouilleuse, les épis à effeuiller subissent une action de frottements sur une table constituée de rouleaux de 0,8 à 1,20 m de long et de 5 à 7 cm de diamètre. Ces rouleaux sont au nombre de 6 à 8, jusqu'à 16 sur les grosses machines. Les rouleaux tournent en sens inverse les uns par rapport aux autres et présentent un dessin de surface qui va happer les spathes entre deux rouleaux voisins. Sur la table d'épanouillage, des dispositifs de palettes, d'étoiles ou de brosses en caoutchouc vont améliorer l'opération en appuyant les épis contre les rouleaux et en les maintenant parallèles à ceux-ci au cours de leur progression dans la machine.

Des essais de mécanisation de la récolte ont eu lieu avec des *récolteuses-épanouilleuse (corn-picker)* 1 rang en Afrique de l'Ouest, mais sans succès. Dans les pays industrialisés, sur culture à plat, la récolte et le stockage en épis, très répandus il y a quelques années encore, ont laissé la place à la récolte en grains sauf pour les semences.

La récolte est réalisée avec des *cueilleurs-épanouilleurs (corn-picker)* portés ou attelés à un tracteur ou encore automoteurs. Ces machines assurent :

- le ramassage des épis; les tiges de maïs, guidées par des diviseurs sont prises entre deux collecteurs et maintenues entre deux rouleaux cueilleurs par des chaînes parallèles à doigts;
- l'épanouillage ou élimination des spathes (tuniques de l'épis);
- le convoyage et le transport des épis vers une trémie d'attente ou une remorque suiveuse.

Pour un maximum d'efficacité et pour limiter les risques de bourrage, la vitesse des chaînes doit être légèrement supérieur à la vitesse d'avancement pour éviter d'arracher les tiges et de les casser lorsqu'elles sont sèches ou issues des variétés fragiles. Les épis récoltés seront ensuite placés dans des cribs pour y être séchés et stockés.

Egrenage

Dans les pays en développement, l'égrenage est souvent manuel, mais on utilise parfois des égreneuses manuelles que certains constructeurs ont motorisées (figure 13). Les débits sont compris entre 100 et 300 kg/h.

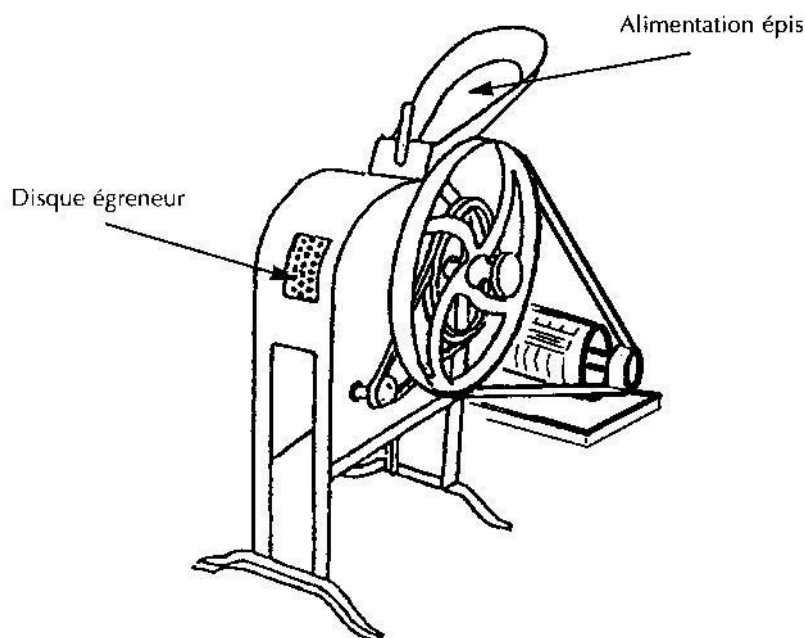


Figure 13. Egreneuse à maïs.

Plusieurs types de machines, fonctionnant à poste fixe et entraînées par moteur en prise de force de tracteur, sont utilisés pour l'égrenage du maïs: des batteuses à céréales et des égreneuses spécifiques.

Les batteuses à céréales sont équipées d'accessoires et d'options adaptées. Les modèles les plus répandus dans les pays en développement ont des débits entre 500 et 1 500 kg/h.

Les égreneuses ont été conçues spécialement, telles la Bamby de Bourgoin (figure 14) d'autres mises au point pour l'égrenage d'épis de maïs, de sorgho et de mil comme la Bamby de Bourgoin (cf. chapitre sur le mil). L'égrenage est assuré par friction ; en conséquence, l'alimentation doit être régulière pour obtenir un égrenage correct.

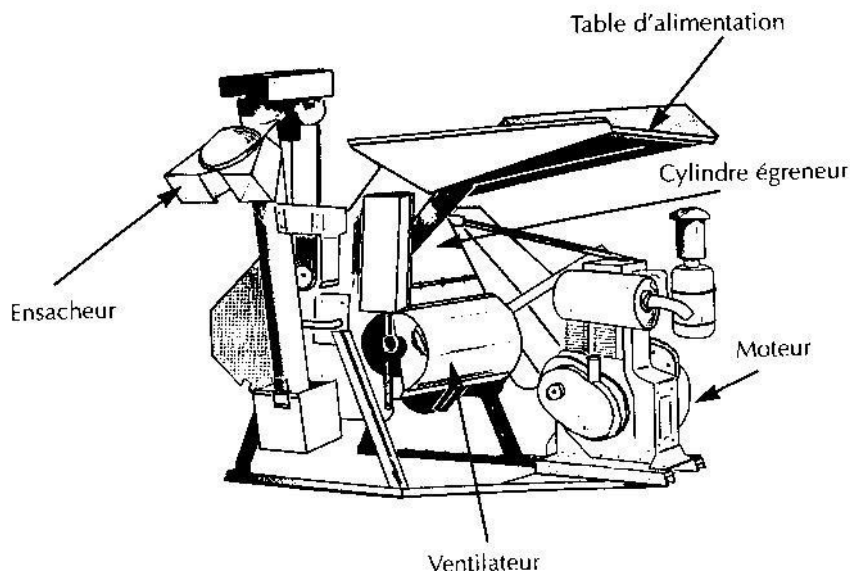


Figure 14. Egreneuse Bamby de Bourgoïn.

c. Récolte en grains

La récolte en grains est réalisée dans les pays industrialisés et sur certaines grosses exploitations des pays en développement par des moissonneuses-batteuses à céréales et des cueilleurs-égreneurs (**corn sheller**).

Les moissonneuses-batteuses sont équipées d'accessoires et de réglages spécifiques du maïs (becs cueilleurs, grilles, vitesse du batteur, de la ventilation,...). Cette solution peut être intéressante quand les superficies de maïs ne sont pas suffisantes pour investir dans un matériel spécifique. Mais ces machines sont moins performantes que les corn-sheller car elles cassent plus.

Les cueilleurs-égreneurs ou corn-sheller sont constitués d'un cueilleur-ramasseur d'épis, d'un dispositif d'égrenage dérivé d'égrenuses, d'un système de nettoyage et d'une trémie de stockage des grains avant leur vidange dans une remorque. Certains modèles spécialement adaptés pour le maïs restent cependant performants sur les autres céréales : l'Axial flow de International Harvester, leTwin rotor et le Twin flow de New Holland, le système multi-cylindres de Claas. Sur ces corn-sheller, l'égrenage est une opération délicate lorsque l'humidité au moment de la récolte varie de 25 à 40%.

L'égrenage par cylindres munis d'aspérités est le procédé généralisé. Le ou les cylindres sont placés longitudinalement dans le sens de l'avancement. Ils ont une longueur de 1 à 1,3 m et un diamètre de 0,2 à 0,25 m, et leur vitesse de rotation est comprise entre 450 et 1 100 tour/mn. Eventuellement, il est possible d'équiper ces machines de broyeurs de pailles placés sous la table de coupe pour faciliter

l'incorporation des résidus de récolte dans le sol et hâter leur décomposition.

2.1.4.5. Transformation

En alimentation animale et humaine, le maïs peut être consommé en grain, mais le plus souvent il est valorisé sous forme de farine, et dans certaines situations en grain décortiqué (expérience du « riz de maïs» au Sénégal).

a. Mouture

Pour passer du grain à la farine, le maïs doit être décortiqué (on enlève le péricarpe et le germe, environ 20% du produit), puis broyé. Ces opérations se font traditionnellement manuellement et en humide dans les pays africains. La première opération qui a été motorisée est la mouture, reconnue comme la plus difficile par les femmes. Les matériels les plus utilisés, entraînés par des moteurs thermiques ou électriques, et de débits compris entre 150 et 350 kg/h, sont des moulins à meules et des broyeurs à marteaux qui transforment des produits secs.

La mécanisation du décorticage est plus récente et fait appel à des équipements spécifiques à meules et à des disques, entraînés par des moteurs électriques ou thermiques de débit compris entre 1 00 et 200 kg/h.

2.2. Le Riz (*Oryza sativa*)

2.2.5. Mécanisation de la riziculture sans submersion

Pour la culture sans submersion on utilise les matériels classiques pour céréales. La présentation qui suit s'appuie sur des exemples au Brésil et quelques projets en Afrique où ce type de riziculture est peu motorisé.

2.2.5.1 Aménagement des parcelles

Les premiers travaux importants permettant la motorisation sont le dessouchage et la réalisation de parcelles de dimensions adaptées aux niveaux de mécanisation choisis.

Les aménagements concernent surtout les terrains en pente. Il s'agit de faciliter le passage des matériels, et de limiter les dégâts dûs à l'érosion à laquelle les sols tropicaux sont sensibles. Depuis les années 80, la mise en défens des sols contre l'érosion peut être réalisée mécaniquement dans l'exploitation avec du matériel qui permet de confectionner des cordons antiérosifs. Auparavant, il fallait recourir à des entreprises de travaux publics. Divers modèles sont préconisés en fonction du sol et de la pente. On distingue :

- les cordons à base étroite de 0,2 à 0,4 mètre de large; ils ne sont pas cultivés ;
- les cordons à base moyenne de 0,4 à 0,6 mètre de large ; ils peuvent être cultivés dans les parties inférieures ;
- les cordons à base large de 0,9 à 1,2 mètre (terrasses) ; toute la surface du billon est cultivée.

En motorisation conventionnelle, ces cordons peuvent être confectionnés avec une charrue à disques classique ou avec un terracedor (billonneuse disques pour billons à base très large).

Avec une charrue à disques, il est nécessaire de réaliser jusqu'à dix passages en adossant sur des pentes compris entre 18% et 20. A une vitesse comprise entre 6 et 9 km/h, on réalise de 700 à 1 000 m de cordon en une heure.

Le terracedor est un équipement relativement nouveau sur le marché brésilien (figure 2). Cet outil, porté ou traîné, est constitué de disques montés sur un châssis en V dont la partie centrale est plus élevée que les extrémités. Il est possible de régler l'angle des porte-disques soit par des moyens mécaniques, manivelles ou clavettes, soit par des dispositifs d'assistance hydrauliques tels que les vérins. Les modèles portés permettent de travailler une largeur de 3 à 6 mètres. Il faut alors 6 à 12 passages au même endroit avec un tracteur de 44 à 66 kW pour réaliser 700 à 1 000 m de cordon à base large en une heure. Les modèles traînés, adaptés à des tracteurs de plus de 66 kW, et à réglage hydraulique des angles du châssis par rapport au sol et à l'avancement, peuvent atteindre une largeur de travail de 10 mètres. Dans la plupart des cas, il est nécessaire de finir ce cordon avec un billonneur classique ou une charrue pour en dresser correctement les bords.

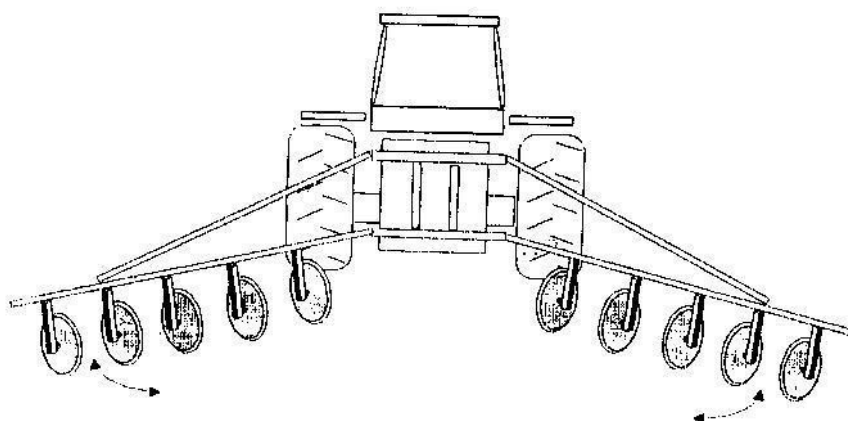


Figure 16. « Terracedor »

2.2.5.2. Préparation des sols

Deux types d'itinéraires sont généralement pratiqués: le premier à base de labour et le second à base de travail superficiel du sol.

a. Labour suivi d'une reprise

Le labour permet d'enfouir des résidus de culture, de la fumure organique ou encore de reprendre le sol « abîmé » lors de la récolte à la moissonneuse-batteuse.

Le labour est le plus souvent réalisé à la charrue à disques. Mais on peut aussi trouver des modèles à socs avec versoirs à claire-voie pour des terrains très argileux.

On recommande un labour à environ 18 cm de profondeur pour un bon enfouissement des chaumes et de la fertilisation organique. Le nombre et le type des reprises sont fonction des conditions de culture du riz (type de sol et mode d'implantation). On cherche un sol pulvérisé et raffermi pour maintenir des conditions d'humidité propres à assurer une germination et une levée rapide et homogène de la culture. Ces reprises peuvent être réalisées par :

- un pulvériseur tandem à disques plus légers de 18 à 20 pouces de diamètre (460 à 510 mm) ;
- un cultivateur, puis une herse à dents rigides et un rouleau packer.

b. Travail superficiel du sol

Le travail avec des outils à disques est suffisant quand la végétation à enfouir est peu développée et le sol peu « abîmé ». La préparation du lit de semences est moins fine que sur le labour, mais la mise en œuvre de cette technique est plus rapide et moins onéreuse.

L'utilisation de pulvériseurs lourds équipés de disques de diamètre de 32 ou de 36 pouces (810 ou 910 mm) est la plus répandue. Ces pulvériseurs peuvent travailler dans les terrains récemment défrichés, pour fragmenter les restes de bois et incorporer les amendements.

Suivant les situations et les sols, le chisel suivi d'une ou plusieurs reprises est parfois utilisé. Dans certains sols légers, l'emploi des outils animés à axe rotatif horizontal (rotavator) ou vertical (herse rotatives) est intéressant. Mais ces matériels ont tendance à trop pulvériser la surface du sol et à ne pas enfouir suffisamment les engrais. Cela rend difficile l'enracinement des plantules et peut accroître les pertes d'engrais azotés appliqués avant le semis.

2.2.5.3. Epandage d'engrais

Les engrais complets sont souvent épandus avant le semis. L'azote peut être appliquée au semis avec des semoirs combinés, et après les semis, éventuellement en plusieurs passages pour le fractionnement. Celui-ci tient compte du stade végétatif de la plante, et de la conduite de l'irrigation quand elle est pratiquée. Les matériels utilisés dépendent du conditionnement des produits et de la précision recherchée.

Avant semis, des pneumatiques larges améliorant la portance peuvent être utilisés pour des conditions plus humides. Qu'ils soient granulés ou liquides, les engrais sont épandus avec du matériel classique ou par avion. Dans certaines situations, les fertilisations fractionnées en cours de culture sont apportées par avion et en mélange avec un produit phytosanitaire s'il y a compatibilité des produits et nécessité de traitement.

2.2.5.4. Semis

En pluvial, le semis est fortement mécanisé aussi bien en culture attelée qu'en mécanisation. Il est généralement réalisé en ligne. En mécanisant le semis, il faut viser l'uniformité de la distribution des semences, une mise en place des graines favorisant la régularité de la levée et la lutte contre les adventices. La levée dépend de la température du sol, des conditions d'humidité, de la méthode de mise en place de la culture et de la qualité de la préparation du sol. Le riz a des fortes capacités de tallage, aussi le resemis n'est pas conseillé, à moins que les densités soient inférieures à 100 plants/m². L'expérience montre qu'un semis superficiel est préférable pour un bon démarrage de la culture.

Lorsque la maîtrise des adventices est assurée par des produits chimiques, on recherche des écartements entre rangs voisins de 20 cm.

L'utilisation du sarclage mécanique nécessite des écartements entre rangs importants. Dans ces conditions, on retient des écartements de 40 à 60 cm entre les rangs pour des densités recherchées de 50 plants au mètre linéaire. On peut utiliser les mêmes semoirs que précédemment en bouchant des goulottes de sortie des graines sur le semoir.

Les semoirs peuvent être équipés de fertiliseurs et de distributeurs de pesticides, ce qui permet de combiner plusieurs opérations en un seul passage.

Les semoirs en ligne classiques, à distribution à cannelures, sèment à des profondeurs de 3 à 5 centimètres des doses de semences de 50 à 60 kg/ha. Ce sont les plus fréquemment employés. Leurs caractéristiques de construction permettent de semer à des écartements réduits à 16 centimètres environ.

Les semoirs monograines, adaptés à la culture du maïs, peuvent être utilisés sur le riz. La régularité est moins bonne qu'avec les semoirs en

ligne. Il est difficile, pour des raisons techniques liées au matériel, de réduire les interlignes à moins de 30 cm.

Les semoirs de semis direct réalisent le semis sans travail du sol préalable, mais après un traitement herbicide de la végétation préexistante. Ces semoirs sont équipés de systèmes d'enterrage adaptés au semis du maïs, du soja et du riz sur mulch qui forme une couverture morte protectrice. Le système le plus classique consiste en un disque gaufré à l'avant pour ouvrir le sol devant deux jeux de deux disques jumelés de diamètres différents. Le premier ouvre un sillon pour la semence et le second ferme le sillon et recouvre les grains (figure 17).

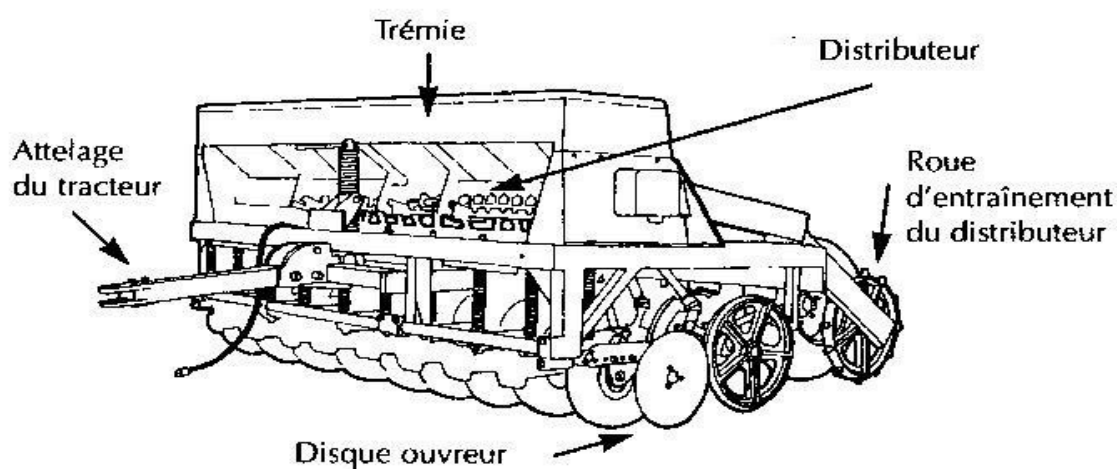


Figure 17 : Semoir de semis direct.

Les premières machines pour le semis direct du riz sont apparues sur le marché brésilien en 1973. Actuellement, plus d'un million d'hectares sont mis en culture de cette façon au Brésil.

2.2.5.5. Entretien et protection de la culture

Suivant les zones, les opérations d'entretien peuvent être motorisées avec des matériels conventionnels utilisés sur les céréales. Elles sont souvent réalisées manuellement ou avec des pulvérisateurs à dos.

a. Désherbage

Le désherbage mécanique est possible pour des semis en ligne à écartement supérieur à 35 cm, mais il est peu pratiqué.

Le désherbage chimique, parfaitement au point, se développe de plus en plus. En cours de végétation, on utilise généralement des pulvérisateurs conventionnels ayant une largeur multiple de celle des semoirs, sur

lesquels on bouche des trous permettant de matérialiser le passage des roues de tracteurs. Avec les pulvérisateurs à dos, le jalonnage est rare et la pulvérisation approximative.

Dès que les superficies sont importantes, l'épandage aérien est fréquent, car il utilise peu de bouillie par hectare avec des conditionnements spéciaux. Cette technique de traitement a été de précision en métal ou en alumine frittée. La vulgarisation des buses à miroir en métal Berthoud en est un bon exemple. Un homme peut traiter un hectare en une heure avec un pulvérisateur à dos et la buse BV 50 à basse pression.

L'introduction d'herbicides (*suphonyl urée*) efficaces à des très faibles doses de matière active (60 grammes à l'hectare), et les applications en présemis (*oxadiazon*) font évaluer les techniques d'application. Les équipements doivent être adaptés pour épandre plus précisément des doses de matière active toujours plus faibles. Les pulvérisateurs ULV (*Ultra Low Volume*) manuels, du même type que ceux utilisés avec des insecticides sur coton en Afrique se rencontrent de plus en plus en traitement herbicide.

b. Protection phytosanitaire

Dans certains cas, les insectes peuvent causer des dégâts importants par action directe (foreurs, défoliants...) ou comme vecteurs de maladies virales. En Asie, en général, le pulvérisateur à moteur est utilisé, mais on ne travaille qu'à de faibles doses par hectare de granulés ou de bouillies.

2.2.5.6. Récolte et battage

La récolte et le battage peuvent être réalisés simultanément à l'aide de moissonneuses-batteuses du même type que celles utilisées avec les autres céréales. Le conditionnement du paddy se fait généralement en vrac. Cette technique est pratiquée au Brésil. La récolte et le battage peuvent aussi être mécanisée séparément. Le conditionnement du paddy se fait alors en sacs. Cette situation est fréquente en Afrique.

a. Récolte à la moissonneuse-batteuse

Les modèles de moissonneuses-batteuses utilisés couramment dépassent 75 kW. Avec des largeurs de travail de plus de 3m, les temps de travaux sont souvent inférieurs à 2h/ha.

L'intérêt de réaliser la récolte et battage simultanément réside dans un gain de main-d'œuvre et un dégagement plus rapide des parcelles. En contrepartie, les exigences sont plus strictes sur les conditions de récolte (en particulier l'humidité du grain) et sur la succession des opérations ultérieures. Les contraintes se situent dans l'organisation du chantier en fonction de la destination de la récolte et de la paille. Le transport en vrac par tracteurs et camions vers des silos de stockage équipés de vis de récupération se généralise. Il faut prévoir, en fonction des distances, un

nombre suffisant de remorques pour ne pas arrêter le travail de la moissonneuse-batteuse. Le conditionnement en secs, exigeant en main-d'œuvre pour l'ensachage et la manutention, disparaît progressivement. Le seul avantage du conditionnement en sac sur la machine est de rendre indépendantes les opérations de récolte et de transport, sous réserve d'avoir suffisamment de sacs. L'organisation de chantier s'en trouve simplifiée. Sur la moissonneuse-batteuse, on montera un broyeur si la paille est enfouie, un andainneur si elle est conditionnée.

b. Récolte et battage séparés

Les techniques manuelles de récolte *et* de battage prédominent, mais le battage mécanisé se développe. Par contre, il est rare que la récolte soit mécanisée avec des faucheuses ou des faucheuses-lieuses.

b.1. Récolte

Dans tous les cas, la récolte débute à la maturité du paddy. La récolte mécanique peut être réalisée par trois types de machines. Elles se distinguent par les besoins en main-d'œuvre pour ramasser et stocker le paddy. Ces besoins sont de moins en moins importants en passant des faucheuses aux moissonneuses-lieuses.

Les faucheuses simples

Les faucheuses simples déportées sur le côté des tracteurs ou tirées par des animaux de trait (utilisation de moteur auxiliaire éventuellement) ne sont pratiquement pas utilisées en riziculture. Pourtant elles sont moins coûteuses à l'achat que les autres modèles. Mais elles présentent l'inconvénient de nécessiter un détournement des parcelles pour que le tracteur (ou des animaux) ne foulent pas le premier tour. De plus, l'utilisation d'un moteur auxiliaire pour l'entraînement de la faucheuse en traction animale est délicat. Les animaux, non habitués, sont gênés par le bruit et les vibrations occasionnées par le moteur.

Les faucheuses automotrices

Les faucheuses automotrices sont, en général, de petites machines. Sur certains modèles, l'opérateur marche derrière la machine. Sur d'autres, il est assis. Les largeurs de travail les plus fréquentes sont comprises entre 0,30 m et 1,50. La puissance des moteurs est souvent inférieure à 15 kw. On trouve principalement les faucheuses et faucheuses-andaineuses de fabrication italienne qui enjambent le rang coupé.

Les Moissonneuses-lieuses

Les Moissonneuses-lieuses sont des faucheuses équipées d'un système de liage pour faire des gerbes de 6 à 10 kg. Les manutentions ultérieures nécessaires pour la mise en meules se trouvent réduites. La reprise des gerbes pour l'alimentation des batteuses est facile. Mais le système de liage fragilise ces machines. La position de ce système ne permet pas

toujours de lier les variétés trop courtes ou trop hautes et la ficelle coûte cher. Les performances de ces machines en fonction des modèles, varient généralement de 6-7 h/ha à 20 h/ha.

La coupe est suivie ou après un léger séchage, de la mise en moyettes. Celles-ci sèchent plus ou moins longtemps au soleil (1 à 3 jours) en fonction des conditions climatiques et de l'humidité du paddy. Elles sont ensuite regroupées en meules de formes diverses suivant les zones. Il faut veiller à aligner les gerbes dans des meules pour en faciliter la reprise au moment du battage. Ces meules sont le plus souvent confectionnées sur les parcelles à même le sol ; parfois elles sont surélevées si le sol est humide et s'il y a des risques importants d'attaques par des déprédateurs. Quand il est nécessaire de dégager rapidement les parcelles pour implanter une autre culture, ces meules sont réalisées sur des aires de battage situées en bordure des parcelles ou dans l'exploitation. Le paddy peut rester ainsi stocké en meules de quelques jours à plusieurs mois, si les conditions climatiques le permettent et si le lieu de stockage est bien abrité et protégé.

b.2. Battage

Le chantier de battage se déroule en plusieurs opérations. Les gerbes de paddy sont reprises dans les meules. Elles sont ensuite étalées en couches de faible épaisseur en vue du battage manuel, ou déposées sur la table d'alimentation d'une batteuse.

Le battage mécanique est réalisé le plus souvent avec des batteuses absorbant pailles et panicules, dont les débits sont compris entre 600 et 1500 kg/h de paddy. Ces machines comprennent un cylindre batteur, un contre-batteur, et, sur les modèles les plus évolués, des dispositifs de nettoyage et d'ensachage. Il existe deux grands types de batteuses qui diffèrent par le trajet de la récolte par rapport au batteur. Dans le système le plus ancien, la récolte passe perpendiculairement par rapport au batteur. Dans celui développé par l'IRIL, la récolte suit un trajet hélicoïdal autour du batteur (*type axial flow*). Toutes les machines sont maintenant équipées de batteurs et de contre-batteurs à boucle ou à dents droites ou en forme de sabres (figure 18).

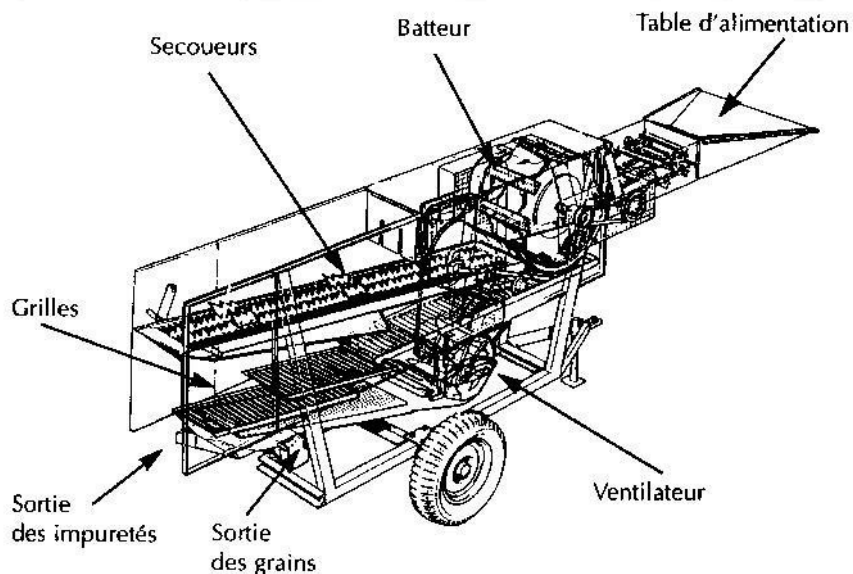


Figure 18. Vue
Figure 18 : Vue éclatée d'une batteuse classique

Les organes de nettoyage, lorsqu'ils existent, sont classiques. Ce sont généralement des secoueurs et de grilles associés à un ventilateur. Ils peuvent être limités à un système de ventilation sur certains modèles comme la votex (figure 19).

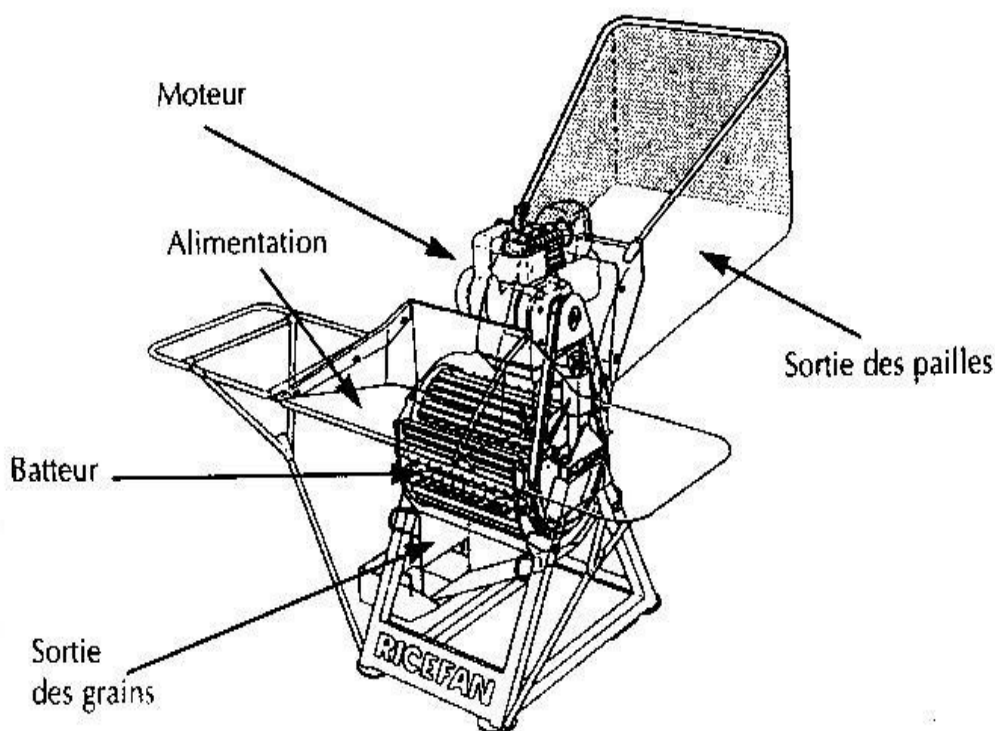


Figure 19. Batteuse votex

Normalement, après battage, le vannage n'est pas nécessaire avec des batteuses équipées de séparateurs et de nettoyeurs, mais le mauvais état des machines et des réglages inappropriés permettent rarement d'obtenir

des produits propres. C'est pourquoi le produit obtenu est vanné manuellement par les femmes avant la mise en sacs et le transport.

2.2.6. Petite mécanisation en riziculture irriguée

La petite mécanisation en riziculture irriguée a été développée au Japon dans des conditions très particulières de production. En effet, les exploitations sont très petites (90 % font moins de 2 ha) et les parcelles sont de petite dimension. La main-d'œuvre est rare. Le travail dans la boue et repiquage mécanique sont généralisés. Pour ces conditions, une mécanisation sophistiquée de faible puissance adaptée au travail dans la boue et au parcellaire a été mise au point. Pour ne pas abîmer la paille qui est valorisée pour partie dans l'artisanat, des matériels de récolte et de battage ont également été adaptés.

Cette mécanisation sophistiquée, adaptée à une riziculture japonaise intensive, évolue progressivement avec pour objectif de réduire les coûts de production :

- par augmentation de la taille des parcelles ;
- par réduction du nombre de passages en travail du sol ;
- par introduction et développement du semis en pré germé ;
- par augmentation du nombre de moissonneuses-batteuses de type conventionnel, mais de petite capacité. Dans cet exemple ne seront développées que les opérations mécanisées avec du matériel spécifique.

2.2.6.1. Nivelage et préparation des sols submergés

Le nivelage et la préparation des sols visent à la mise en boue en vue du repiquage. Ils peuvent être effectués sur sol sec ou humide avec des matériels de préparation des sols classiques. Ils sont suivis d'une mise en eau puis de la mise en boue par malaxage. Il est aussi fréquent que la mise en eau ait lieu avant les préparations du sol. On utilise alors des outils rotatifs. Le malaxage dans la boue sur des parcelles de petite dimension nivèle aussi le sol lorsque le planage n'a pas été trop dégradé lors des récoltes du précédent cultural.

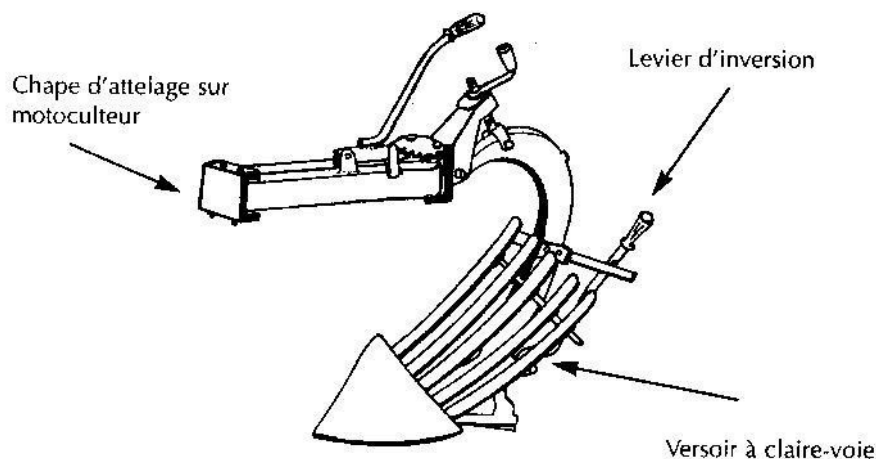


Figure 20 : Modèle de charrue japonaise adaptable au motoculteur

Pour la préparation du sol, des charrues dites japonaises sont aussi utilisées (figure 20). Les motoculteurs sont équipés de modèles monosoc et les microtracteurs de moins de 20 kW de modèles bisoc. Les charrues ont un soc triangulaire et un versoir à claire voie. Elles peuvent travailler entre 12 et 18 cm de profondeur sur terrain sec ou humide, en planche ou à plat (simples ou réversibles). Quelques charrues sont munies de coutres circulaires lisses ou gaufrés leur permettant de travailler dans des sols encombrés de résidus végétaux.

Le malaxage (puddlage, piétinage) a pour but d'obtenir une boue plus ou moins fluide et profonde, suivant la technique de plantation retenue. Il est réalisé avec des fraises et des roues cages. Pour les semis en pré germé sur boue, seule la zone superficielle a besoin d'être malaxée. A l'opposé, le repiquage demande un travail plus en profondeur et une boue plus fluide et homogène.

Les **fraises** sont utilisées avec des motoculteurs ou des tracteurs. Les tracteurs, de 10 à 15 kW, se vendent mieux car ils sont mieux adaptés aux petites parcelles (100 x 30) des rizières. Les fraises travaillent l'épaisseur minimum de boue nécessaire au repiquage en gardant un sous sol portant. Le capot de protection de l'outil est conçu pour entretenir ou façonner le planage. Ces outils à axe horizontal ont des pièces travaillantes (lames) différentes suivant les conditions du terrain. Elles sont minces et effilées pour le terrain dur et mince et une partie cintrée et aiguisée pour les autres cas. Ces cintrages des lames, dans plusieurs plans, donnent des formes plus ou moins hélicoïdales et permet un brassage efficace tout en limitant les phénomènes de lissage (figure 21).

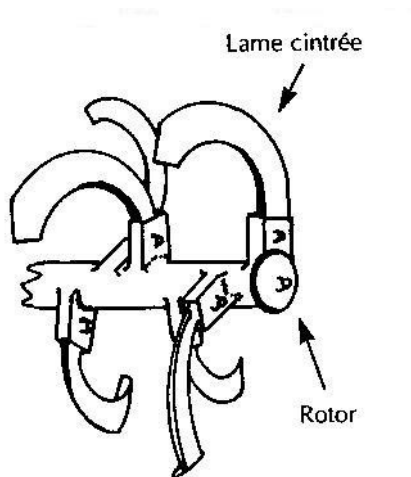


Figure 21 : Rotor de houe rotative équipée de lames cintrées

La forme des dents a été étudiée pour aboutir à la mise au point et à la diffusion du modèle nata-zume qui réalise un bon malaxage de la paille et de la terre en un seul passage. Les japonais se sont rendus compte que la profondeur de travail n'influe pas le rendement, et qu'une mise en boue sur 12 à 14 cm d'épaisseur est suffisante.

Les roues cages et roues métalliques se montent sur les motoculteurs et tracteurs. Elles sont utilisées seules ou en complément au travail de la fraise (figure 22).

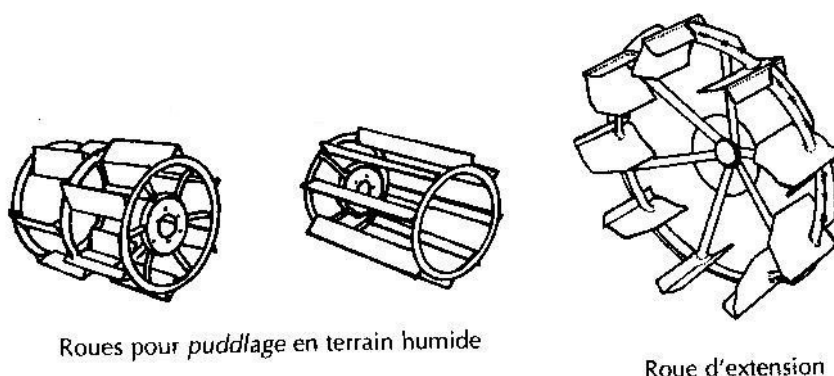


Figure 22 : Roues métalliques et roues cages

2.2.6.2. Repiquage

Par rapport au semis, cette technique présente certains avantages. La maîtrise de l'eau n'a pas besoin d'être aussi poussée. Elle permet des économies de semences : 30 à 40 kg au repiquage pour 100 à 150 kg en semis à la volée. Les plants à repiquer sont choisis, c'est-à-dire que les plants chétifs sont éliminés. La pression de l'enherbement est moindre, car les plants repiqués ont de l'avance sur les adventives. De plus, lorsque le repiquage est effectué en lignes à des écartements d'au moins 30 cm, la lutte contre l'enherbement est plus facile, car il est possible de pousser

des houes entre les lignes. Les gains de temps sont appréciables ; 5 à 6 j/ha suffisent avec des houes manuelles alors qu'il faut 20 à 30 j/ha à la main. En cas de succession de cultures, les pépinières peuvent être implantées avant la récolte de la première culture ce qui permet de gagner quelques jours.

Mais le repiquage présente aussi des inconvénients par rapport au semis. Il est beaucoup exigeant en main-d'œuvre : 20 j/ha avec des plants de 30 à 50 jours en repiquage manuel. Les plants subissent un stress lors du repiquage qui se traduit par un allongement du cycle. Mais, globalement, un riz repiqué reste moins longtemps sur la parcelle qu'un riz semé du fait du temps passé en pépinière.

On appelle que la mécanisation du repiquage nécessite un sous-sol ferme, une boue fluide, homogène, avec un travail plus profond pour le repiquage que pour le semis, et la production de plants homogènes et jeunes. Pour ce faire, les pépinières qui, occupent de 1/20^e à 1/30^e de la rizière, sont réalisées en petites planches bien planées et soignées où le contrôle de l'eau est parfait. Il faut y semer du riz traité et pré germé. Enfin, il faut que la rizière soit prêtée pour le repiquage à 15 -20 jours de pépinière.

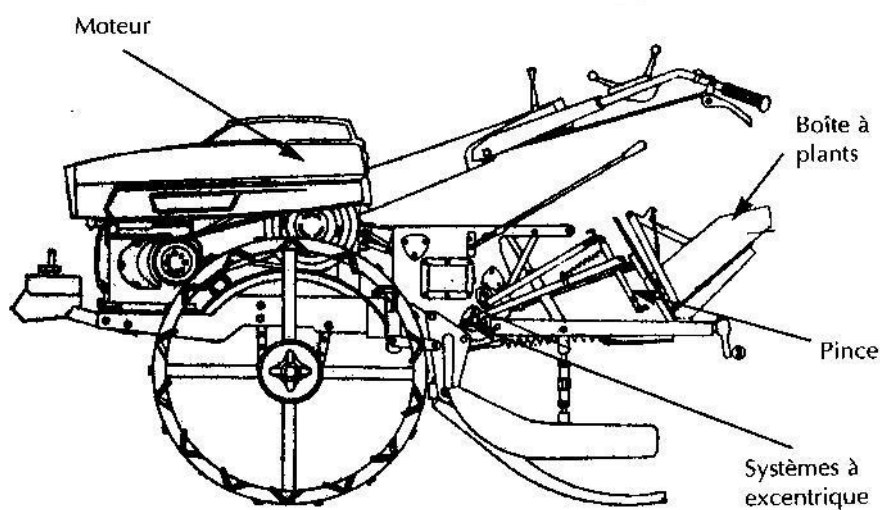
Les repiqueuses choisies sont différentes suivant la préparation des plants (figure 9). Ceux-ci peuvent être issus de pépinières Dapog pure (le riz est semé dans une lame d'eau sur une bâche plastique ou dans des plateaux spéciaux), ou Dapog modifiée(le riz est semé sur une bâche plastique avec une petite lame d'eau et 1 cm de terre environ. Les repiqueuses fabriquées au japon dans les années 70 utilisaient les plants lavés. Elles sont aujourd'hui remplacées par des machines pour plants spéciaux produits industriellement hors sol et achetés par les paysans. Ces repiqueuses autotractées ou autoportées de 2 à 8 rangs doivent travailler sur un sol boueux parfaitement plané à plus ou moins 2,5 cm.

Les performances actuelles avec une repiqueuse 8 rangs sont d'environ 0,4 ha/h. Ces machines peuvent être équipées de fertiliseurs et de distributeurs de pesticides. La vitesse moyenne d'avancement varie entre 0,2 et 0,75 m/s. La densité de repiquage est d'environ 18 à 28 plants/m²

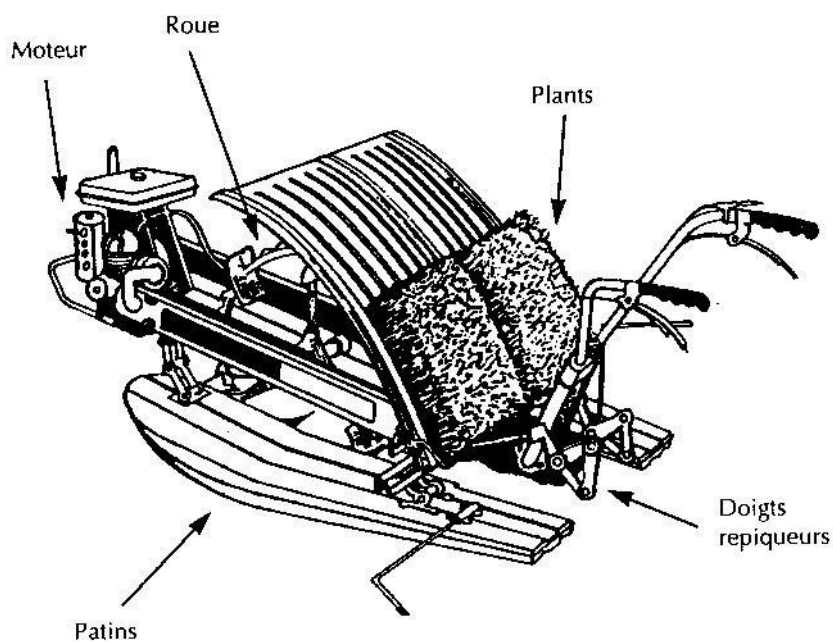
2.2.6.3. Entretien et protection de la culture

Le désherbage mécanique est facilité par le repiquage en ligne. Celui-ci permet de mettre en place des plants de riz sur un sol non enherbé (sans adventices) et d'utiliser une houe rotative manuelle connue dans le monde entier sous le nom de « houe japonaise ». Le désherbage mécanique demande normalement 7 jours de travail à l'hectare alors qu'il faut 20 à 30 journées de travail pour un désherbage manuel. La motorisation de la houe japonaise, en couplant un moteur au bout d'un axe et en protégeant les fraises par des capots à l'autre extrémité, a été vulgarisée (figure 24).

Plusieurs passages dans une mince lame d'eau, de 1 à 3 cm, dès qu'une levée de mauvaises herbes apparaît, permettent de maintenir la rizière propre jusqu'au tallage. Des désherbages manuels sont quelquefois nécessaires.



Repiqueuse pour plants lavés



Repiqueuse pour plants spéciaux

Figure 23 : type de repiqueuses asiatiques

Le désherbage chimique a remplacé progressivement la houe. Certains herbicides tels que l'oxadiazon sont appliqués dans une mince couche d'eau juste après le repiquage avec un flacon doseur que l'opérateur secoue à chaque pas lorsqu'il avance dans la rizière. Les autres herbicides sont appliqués après un assèchement de la rizière pour faciliter les passages des tracteurs, par pulvérisation liquide avec des appareils

conventionnels portés sur tracteurs équipés de roues squelettes pour travailler sur terrain humide voire boueux.

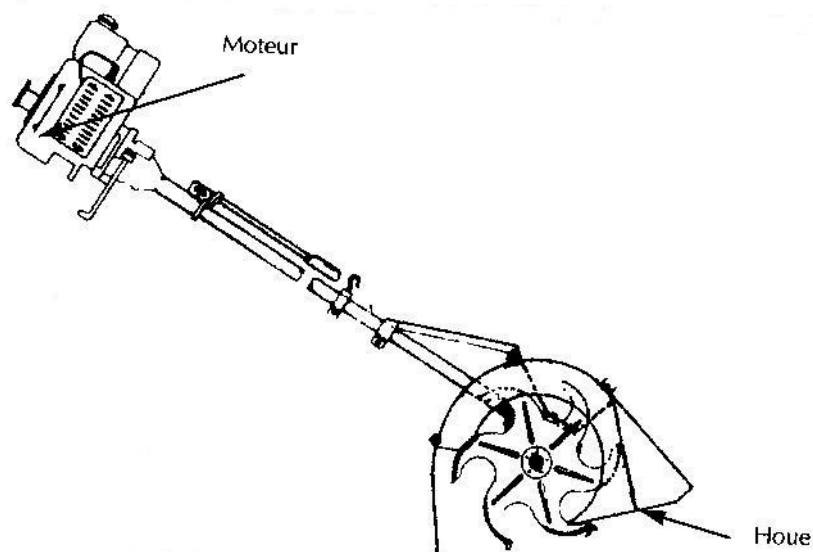


Figure 24 : houe rotative portée manuellement et entraînée par un moteur

Actuellement, les agriculteurs utilisent principalement les appareils à moteur portés sur le dos et capables de projeter uniformément les poudres sur 40 m les granulés et les engrais sur 30 m et les liquides sur 10 mètres. Dans ces conditions l'opération traite à partir des diguettes sans pénétrer dans la rizière. Ces techniques sont adaptées à des parcelles de taille réduite.

Le traitement aérien par hélicoptère se développe. Dans le domaine de la protection phytosanitaire, on note au Japon une préférence certaine pour les formations poudreuses des pesticides. Pour les formations granulées ou liquide ces produits sont aussi épandus avec les pulvérisateurs à dos à moteur depuis les diguettes.

2.2.6.4. Récolte

En ce qui concerne la récolte, l'originalité réside dans le gabarit des équipements et les principes de battage. On rencontre surtout la récolte à la moissonneuse-batteuse avec conditionnement en sacs, tandis que la coupe et le battage séparés avec conditionnement en sacs sont de moins en moins pratiques.

a. Moissonnage-battage

Les moissonneuses-batteuses sont équipées de batteurs à paille tenue. Elles sont, en général, montées sur chenilles et équipées d'ensacheurs. Elles travaillent sur des largeurs voisines de 1 m et sont entraînées par des moteurs de faible puissance (moins de 30 kW). Les sacs sont transportés dans des remorques de motoculteurs et de tracteurs Les

performances sont de 15 h/ha pour des machines à deux rangs. L'utilisation de petits modèles de moissonneuse-batteuse conventionnelle s'accroît.

b. Récolte et battage séparés

Dans le cas d'une coupe et d'un battage séparé, les machines sont de petit gabarit. Elles sont adaptées aux petites parcelles et ont des principes de fonctionnement différents de celles utilisées en culture sans submersion ; en particulier, elles coupent rang par rang et prennent soin de la paille. La coupe est généralement réalisée avec des automotrices, faucheuses andainneuses-lieuses.

b.1. Faucheuses-andaineuses

Les *Faucheuses-andaineuses* sont constituées par l'association d'une barre de coupe et d'un système de convoyage à chaînes chargé d'éjecter et d'aligner le produit coupé sur le côté de la machine. La largeur de coupe varie de 30 cm (1 rang) à plus de 1m (4 rangs). L'IRRI a développé un matériel simplifié d'après des machines chinoises, dont la largeur est voisine de 1 mètre. Avec ces machines, le recours à la main-d'œuvre est important pour la fabrication de gerbes, liées ou non, et la mise en meule sur la parcelle ou en dehors.

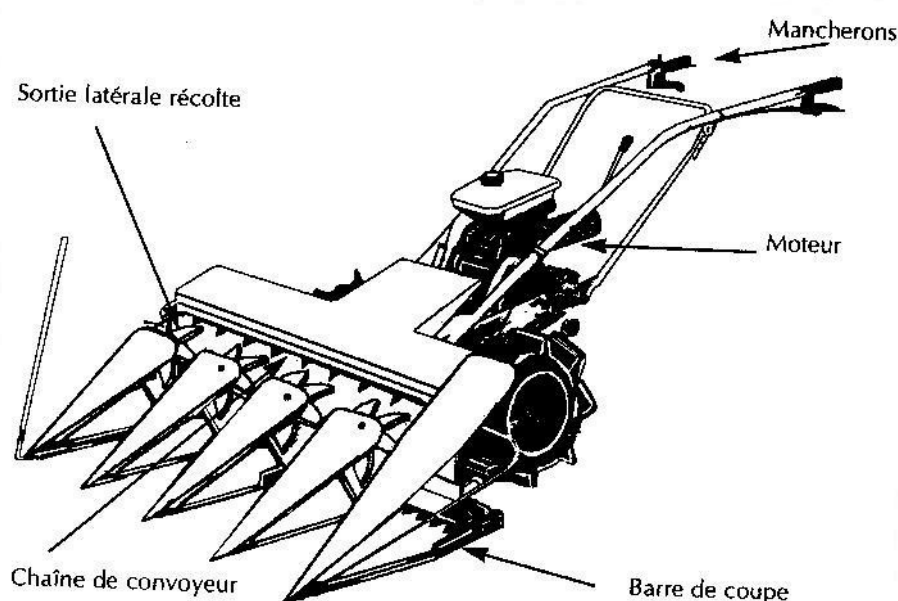


Figure 25 : Faucheuse Asiatique à décharge latérale.

b.2. Moissonneuses-lieuses

Les *Moissonneuses-lieuses* sont constitués d'une barre de coupe et d'un système de liage pour les gerbes (figure 26). Les machines qui travaillent sur deux rangs ont des performances comprises entre 10 et 15 h/ha.

Globalement, la récolte à la faucheuse-andaineuse et à la moissonneuse-lieuse est en régression pour plusieurs raisons : développement des

moissonneuses-batteuses, augmentation du cout de la main-d'œuvre, pertes de grains par vibrations, cout de la ficelle pour les moissonneuses-lieuses. Enfin, elles ont de mauvaises performances dans les récoltes versées. Dans certains contextes, elles peuvent permettre le séchage entre la récolte et le battage.

Le battage est réalisé par des batteuses qui ne froissent pas la paille, car celle-ci ne passe pas dans la machine. Le fait de séparer les opérations de récolte et de battage et de stocker les meules en dehors des parcelles permet de reporter cette opération de battage, de la réaliser dans de meilleures conditions d'humidité de paddy, et éventuellement de réduire les couts de séchage ultérieurs.

Les batteuses à paille tenue à la main doivent dériver directement des modèles de batteuses à pédale, sur lesquels on a ajouté un moteur et parfois un dispositif de nettoyage et un ensacheur (figure 27). Leurs rendements varient de 90 kg/h à 400 kg/h de paddy suivant la dimension du batteur. On estime que les plus petits modèles (moteurs de 4 kW) permettent de battre la production de 0,2 à 0,3 ha/jour avec 4 hommes. Les plus gros (moteurs de 15 kW) battent la production de 0,7 à 0,8 ha/jour avec 8 personnes.

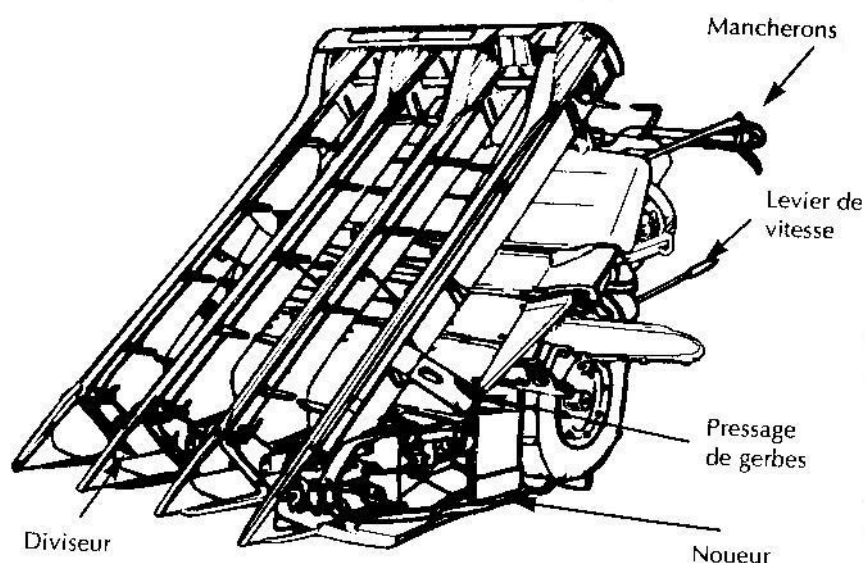


Figure 26 : Moissonneuse-lieuse asiatique à trois rangs à décharge latérale.

Les batteuses à paille tenue sont dites à alimentation automatique quand la gerbe de riz est tenue par sa base entre une chaîne et un support et comprimée par un ressort. L'alimentation en gerbes se fait depuis une table d'alimentation, avec un certain angle par rapport à la chaîne. Cette dernière convoie la gerbe et présente la panicule seule devant le batteur à boucles, parallèle au circuit de la paille qui est éjectée après avoir parcouru toute la longueur du batteur. Les grains battus passent à travers le contre-batteur et sont soumis à l'action du ventilateur. Les grains

propres sont ensachés et les débris évacués derrière la machine. Ces machines ont des débits compris entre 500 et 1.500 kg/h.

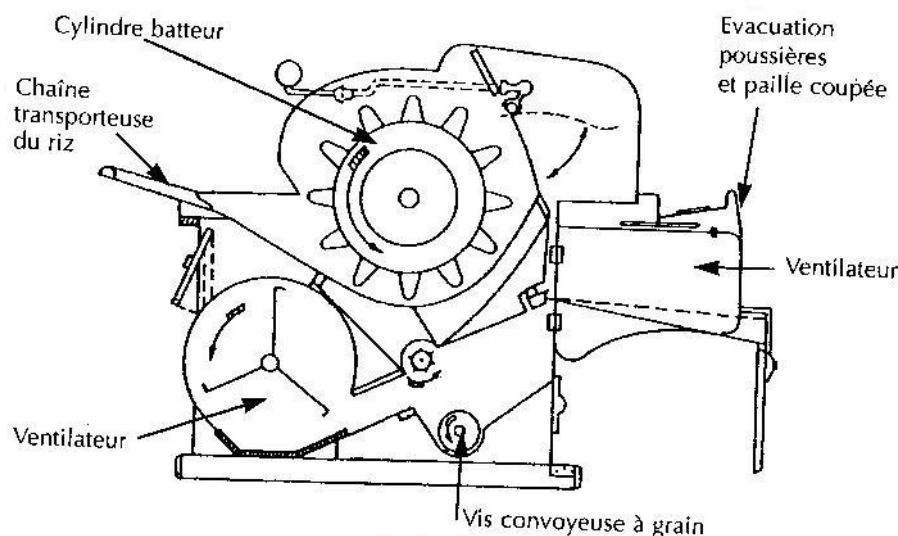


Figure 27 : Batteuse automatique à paille tenue.

2.2.7. Motorisation conventionnelle en riziculture irriguée

La motorisation conventionnelle concerne principalement les périmètres irrigués des pays industrialisés. Ces périmètres sont occupés par des exploitations de taille importante (de quelques hectares à plusieurs milliers d'hectares). Un fréquent planage mécanisé des parcelles permet de conserver un parcellaire de grande dimension, de un à plusieurs hectares. Ce parcellaire permet l'utilisation de matériels agricoles classiques avec des accessoires pour travailler en conditions humides. Le désherbage chimique et le semis en ligne et à la volée ont été généralisés. Dans des nombreuses situations, les semis, les épandages et les traitements sont réalisés par des avions ou des hélicoptères.

Dans cet exemple, nous ne présenterons que les opérations utilisant du matériel non décrit dans les deux précédents cas : le nivelage des rizières, la préparation du sol et le semis.

2.2.7.1. Nivelage

Pour le nivelage, on cherche à réaliser un compromis entre le cout des opérations, la taille des parcelles et la maitrise de l'eau. Les opérations de planage sont indispensables pour étendre la surface des parcelles et éliminer des diguettes croisées en surnombre. On utilise des boteurs d'une puissance de 100 à 150 kW, souvent associés à des décapeuses (scrapers), pour les chantiers importants, là où les distances concernés sont supérieures à 150-200 mètres. Le planage permet aussi de remettre en place la couche arable du sol décapée lorsque la profondeur de la couche de sol à enlever excède 50 cm. Il permet enfin d'avoir une bonne maitrise de l'eau (tolérance de plus ou moins 5 cm), indispensable avec des variétés à paille courte et qui ont une phase de germination moins

vigoureuses. En Italie et aux Etats-Unis les opérations de nivelage sont effectuées régulièrement au moment de la préparation des sols, à peu près tous les 3 à 5 ans, avec des équipements individuels complets (niveleuse et équipement laser) pour la réalisation du planage et son entretien dans les rizières

Les parcelles qui porteront le riz sont toutes correctement nivelées, avec une légère pente (minimum 0,02%) vers les canaux de drainage afin de faciliter les vidanges des rizières au moment de la récolte. Les petites imperfections sont corrigées à l'aide des tracteurs agricoles de 100 à 120 kW de puissance, attelés à des niveleuses équipées d'une lame de 3 à 4 mètres de large. Ces niveleuses peuvent être montées sur un châssis automoteur, sur un châssis trainé (Land plane) ou sur l'attelage trois points d'un tracteur suivant les modèles. Elles sont ajustables pour adapter le travail aux conditions de sol et aux puissances disponibles. Les meilleurs résultats de planage sont obtenus par guidage au laser. La plupart des récepteurs permettent d'obtenir une précision de plus ou moins 8 millimètres sur une distance de 300 mètres (figure 28).

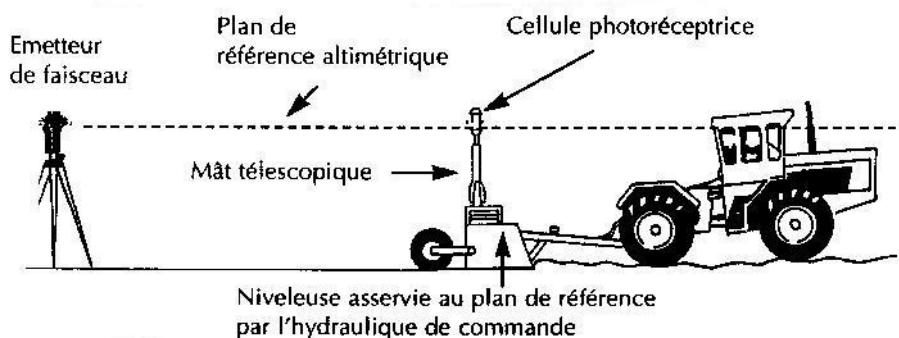


Figure 28 : Niveleuse à guidage laser

Le planage est précédé par un labour léger ou un passage de cover-crop (pulvérisateur à disques) et, en moyenne avec une lame de 4 mètres, il faut 2 ou 3 heures à l'hectare.

Dans des nombreuses situations, les diguettes sont refaites chaque année avec un équipement spécial dérivé des billonneuses, au moment de la préparation des sols pour la culture. Une fraise pulvérise le sol derrière le billonneur et projette la terre sur le tracé de la diguette où elle est appuyée par un rouleau spécial qui forme le profil de la diguette.

En Guyane, après mise en eau des parcelles deux passages croisés sont réalisés avec un rouleau à lame de fabrication locale. Le diamètre est de 70 cm, la largeur est de 3 m. Ce travail avec le rouleau à lames effectue la mise en boue et enfouit les chaumes restants et les adventices levées. Il permet par la suite un entretien du planage, un surfacage, grâce au passage d'un simple tronc d'arbre équarri. Les exploitations rizicoles utilisent des chenillards à tuiles marais, place des bulldozers pour les préparations du sol ; ils travaillent plus vite, sont plus commodes et

reviennent moins chers à l'entretien. Le changement des galets des chenilles reste une opération longue et coûteuse.

2.2.7.2. Préparation des sols

La préparation des sols est effectuée le plus souvent en sec avec des matériels de préparation du sol classique : cover crop et reprise à la herse, mais aussi utilisation d'outils rotatifs et de herse alternative. Il faut privilégier les techniques qui ne dégradent pas le planage.

Les contraintes se révèlent dès qu'il faut déplacer les machines sur des sols très humides, saturés ou submergés. La mobilité est limitée par la couche supérieure du sol, plastique, qui se déforme et se déplace lors de l'avancement des machines. Cela se traduit par un patinage, favorisé par une faible cohésion du sol, un faible frottement interne dans le sol et la lubrification apportée par l'eau libre, par l'adhérence de la boue sur les pneus et les jantes, et par des frottements éventuels de parties de l'engin sur le sol. Pour permettre le déplacement et le travail sur les sols mouillés (boueux) des rizières, on dispose des solutions suivantes : s'appuyer sur une couche profonde plus portante (semelle), « flotter » sur la boue, ou trouver des solutions intermédiaires pour des sols moins boueux.

a. Appui sur une couche profonde portante

L'appui sur une couche profonde est réalisé avec des roues métalliques pour les préparations du sol, les semis et les épandages. Ces roues peuvent s'adapter sur tous les tracteurs, mais présentent quelques inconvénients majeurs : elles sont peu adaptées aux déplacements routiers, elles entretiennent une fatigue certaine des ponts arrières et présentent un danger de cabrage des tracteurs. Ces roues métalliques sont de plusieurs types : les roues métalliques simples, les roues cages et les roues squelettes.

a.1. Les roues métalliques simples

Les roues métalliques simples ne comportent qu'une seule frette et se montent à la place de la roue d'origine du tracteur. Elles sont essentiellement utilisées pour les déplacements en rizières lorsqu'il existe une semelle solide sous la boue. Elles laissent des empreintes étroites, ce qui permet de les utiliser en cours de végétation (pulvérisations, épandages).

a.2. Les roues cages

Les roues cages sont de diamètre égal à celui de la roue qu'elles remplacent. Elles ont un double rôle : déplacement de l'engin dans des terrains humides et submergés, et utilisation pour le malaxage des terres et pour la mise en boue.

a.3. Les roues squelettes

Les roues squelettes proviennent du jumelage de deux roues métalliques simples. Elles sont prévues pour le déplacement dans la boue et pour l'enfouissement des pailles.

B. « Flottement » sur la boue

Le flottement est réalisé par des équipements qui exercent une très faible pression au sol qui leur permet de peu s'enfoncer dans la boue. Ce sont des chenilles et semi-chenilles qui équipent aussi bien les tracteurs que les automoteurs (faucheuses et moissonneuses- batteuses). Ces chenilles sont de différents types. Les tuiles à arêtes simples pénètrent bien (tuile agricole). Les modèles de grande taille sont mieux adaptés aux travaux en terrains usants. Les tuiles dites Lplg, à très basse pression au sol, sont préférées en terres collantes.

C. Solutions intermédiaires en sols moins boueux

Des pneus spéciaux et des dispositifs montés en parallèle des pneus standards sont utilisés en préparation des sols secs à humides (mais non boueux) pour réduire le tassement. Ils réduisent la pression au sol en augmentant la surface de contact par une bande de roulement plus large. Ces solutions pourraient être utilisées sur riz.

Les pneus spéciaux basse pression ont des largeurs de boudin importantes. On les trouve sur les matériels de transport, automoteurs ou tractés. Ils sont souvent sans barrettes et montrent des reliefs simplifiés ou de type routier. Les déplacements sont assez faciles, mais l'usure peut être très rapide.

Les pneus élargis, larges et extra-larges ont une bande de roulement plus large que les pneus normaux. Ils permettent de réduire la pression de gonflage jusqu'à 0,4 bar sur les pneus extra-larges.

Les dispositifs montés en parallèle des pneus standards peuvent être une cage métallique, un autre pneu, une roue cage. On rencontre parfois des semi-chenilles. Ces sont des chenilles souples, enroulées autour des pneus et d'une roue pneumatique située entre les roues avant et arrière des tracteurs et jouant le rôle de tendeur de chenille. Un bras support de la roue tendeur est fixé au pont arrière du tracteur. Un ressort puissant relié au pont arrière d'une part, au bras tendeur d'autre part, permet de maintenir la roue-tendeur en contact avec le sol.

2.2.7.3. Semis

On ne note pas d'avantage déterminant sur le rendement entre un semis effectué en ligne au semoir classique et un semis à la volée, ni entre un semis à sec et un semis dans l'eau, si les conditions de mise en place sont

respectées. Le traitement des semences avec des mouillants donne d'excellents résultats aussi bien au semis en sec que sous lame d'eau.

Les techniques les plus utilisées sont le semis en sec (cfr.culture sans submersion) et le semis à la volée. Celui-ci peut être effectué dans une lame d'eau avec des semoirs centrifuges portés sur des tracteurs équipés de roues métalliques, ou par avion. Par rapport au semis en ligne, la précision de cette technique est bonne (distribution moins précise, repérage difficile dans l'eau, la réalisation est plus rapide, mais les doses de semences nécessaires sont plus élevées (80 à 100 kg par hectare). En raison de leurs capacités de tallage supérieures, on peut diminuer ces doses pour les variétés semi-naines, mais un lit de semences bien préparé reste un impératif.

Dans certaines régions, les semences peuvent être semées à la volée sur un lit de semences grossier et motteux si le semis est suivi immédiatement de la submersion de la parcelle. L'eau va alors désintégrer les mottes et recouvrir partiellement les grains.

Dans d'autres régions, on pratique un semis à sec suivi d'un passage de herse à dents rigides pour recourir les grains. Il faut aussi inonder la parcelle assez vite derrière pour que la levée soit régulière. Là encore, les conditions sont réunies pour une levée homogène.

A noter les expériences en Camargue avec un semoir en ligne à poquets en sec ou sur sol boueux (figure 29). Le semis en poquets aura un intérêt avec des semences traitées avec des produits mouillants lorsque des semences hybrides seront disponibles.

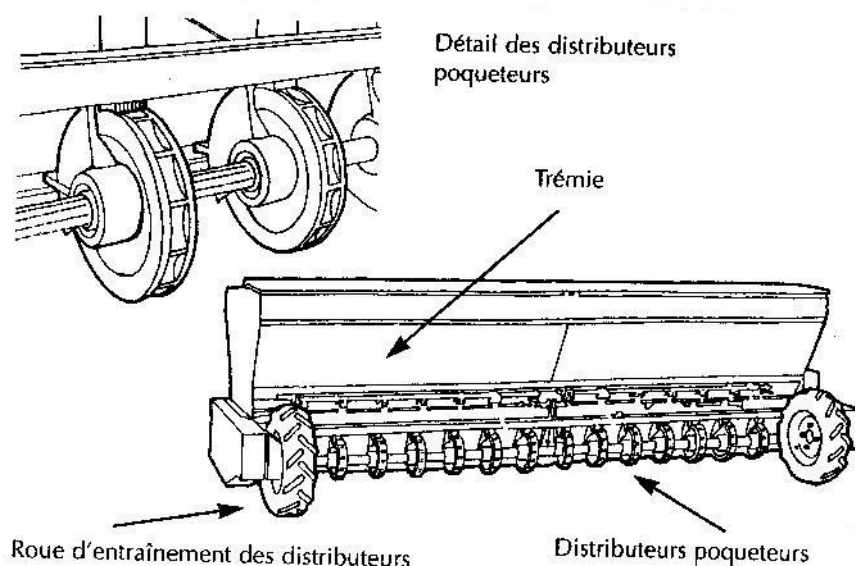


Figure 29 : Semoir à poquets.

2.2.7.4. Récolte et battage

La réalisation de moissonneuses-batteuses à chenilles spécifiques du riz est répandue (figure 30) et le conditionnement du produit se fait entièrement en vrac, d'où une organisation du chantier nécessairement très rigoureuse. Le recours à la main-d'œuvre est extrêmement réduit.

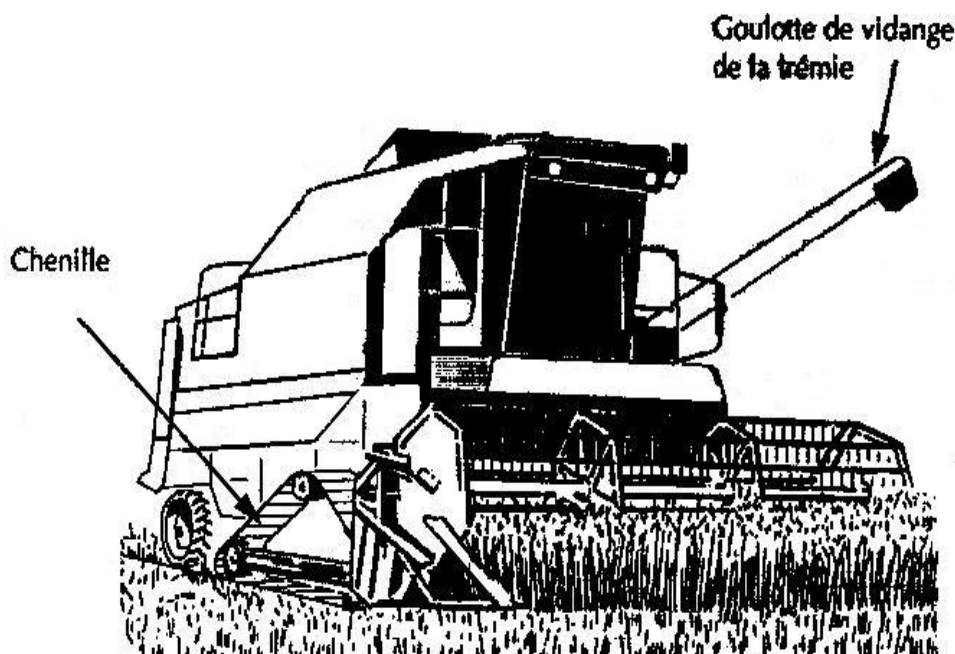


Figure 30 : Moissonneuse-batteuse équipée de chenilles.

En contre partie, il faut disposer d'un équipement important et spécifique comprenant :

- des camions et des tracteurs pour le transport du paddy vers l'exploitation et l'usine
- des équipements et des infrastructures individuelles ou collectives pour la manutention (vis), le stockage (silos) et le séchage du paddy à la ferme ; celui-ci est rendu indispensable la plupart du temps car le séchage au champ n'existe plus.

Les chenilles des moissonneuses-batteuses se présentent sous la forme d'un triangle dont le sommet est occupé par le barbotin, et les deux autres extrémités par des roues-tendeurs. Le nombre de galets porteurs dépend de la dimension de la chenille. L'espacement entre les tuiles doit permettre un débouillage constant, le mélange de la boue avec la paille étant très collant. Les plus souvent, une remise en eau est réalisée au moment de la récolte pour assurer l'auto nettoyage des chenilles. Cet équipement pose des problèmes de déplacement, généralement effectués sur des porte-chars.

2.2.8. Riziculture partiellement motorisée

On entend par « riziculture partiellement motorisée » une succession d'opérations plus ou moins mécanisées combinant éventuellement traction animale, motorisation et travaux manuels.

Les périmètres irrigués d'Afrique de l'Ouest ayant fortement recours à la main-d'œuvre en sont un exemple. Les exploitations de petite taille travaillent de petites parcelles. L'emploi de la motorisation peut se faire par le biais de prestations de service, le plus souvent pour l'entretien des aménagements, le travail du sol et le battage. Les semis, le repiquage, les entretiens des cultures et la récolte sont généralement manuels.

2.2.8.1. Nivelage et préparation des sols

Généralement, le planage est réalisé au moment de la réalisation de l'aménagement. Il est entretenu à l'aide de la traction animale dans la boue, ou en motorisation avec des lames niveleuses portées sur tracteur en sec ou dans la boue. Il peut être corrigé en augmentant le nombre de diguettes intermédiaires qui réduisent la dimension des parcelles.

La préparation des sols est réalisée en sec avec des covercrops traînés par des tracteurs, parfois précédée d'un labour à la charrue à disques ou à socs, et sur sol ressuyé en traction animale avec un labour ou un passage d'outils à dents.

Dans les zones très sèches, ce mode de préparation nécessite une pré-irrigation et donc des charges supplémentaires.

Les reprises sont fonctions du mode d'implantation de la culture :

- mise en boue et planage dans le cas d'un repiquage;
- pas de reprise dans le cas d'un semis à la volée en pré germe dans la boue.

2.2.8.2. Récolte et battage

Trois systèmes coexistent du plus répandu au moins utilisé :

- récolte et battages manuels ou dépiquage;
- récolte manuelle et battage mécanisé;
- récolte à la moissonneuse-batteuse, type européen en vrac; les ensacheuses n'existent pratiquement plus et sont construites sur option.

Dans tous les cas, la mise en sac est généralisée, ce qui facilite l'organisation des chantiers de récolte et de battage, car les opérations de transport, manutention et stockage du produit battu peuvent être effectuées indépendamment du battage.

La récolte à la faucille et le battage sur fûts ou au bâton sont les techniques les plus répandues. Le dépiquage est pratiqué dans un bon nombre de pays d'Afrique et d'Asie. L'aire de travail doit avoir **15 mètres de diamètre autour de la meule**. Les gerbes sont jetées au fur et à mesure

sur le parcours du tracteur ou du véhicule. Au fur et à mesure, les gerbes sont foisonnées avant les passages successifs. Les rendements sont de l'ordre de 600 kg/ha.

La récolte manuelle, suivie d'un battage mécanique, s'est développée ces dernières décennies avec l'introduction de plusieurs types de batteuses utilisées à poste fixe et qui absorbent la paille et les panicules (voir le chapitre sur le riz sans submersion). Les contraintes d'organisation des chantiers sont très importantes: humidité à la récolte et séchage en meules, confection et localisation des meules, reprise des meules et battage.

En fonction des niveaux d'intensification de la production et particulièrement dans le cadre de la double culture de riz, il faut dégager rapidement la récolte pour implanter la seconde culture. Dans certains cas, des aires de battage surélevées ont été prévues sur les parcelles pour permettre une implantation rapide de la seconde culture. Les avis des producteurs sont partagés sur ces aires de battage, car pour certains elles réduisent d'autant les superficies cultivables.

Pour le battage, l'organisation du chantier est importante et utilisatrice de la main d'oeuvre.

On trouve couramment cinq à six personnes pour alimenter la machine, évacuer la paille et le produit battu. Les machines étant souvent dans un état moyen et mal réglées, il est nécessaire de vanner le produit fini ; ce travail est en général réalisé par les femmes. Dans un tel contexte d'utilisation, le système de nettoyage de ces machines n'apporte rien. Malgré un système de nettoyage peu performant, la votex est parfaitement adaptée à ces conditions de travail.

Le moissonnage-battage est très peu répandu. Les machines utilisées sont du type de celles utilisées en Europe, mais les contraintes d'organisation des chantiers et de choix de matériels adaptés ne sont pas résolues. La vidange de la machine a lieu en bout de champ sur une aire ou une bâche et le besoin en main-d'œuvre est encore important à l'ensachage, car le conditionnement en vrac n'est pas pratiqué et les installations nécessaires n'existent pas (matériels de pesée, vis de reprise et silos de stockage du paddy).

Le système d'égrenage sur pied (stripper), dans lequel la paille n'est plus coupée, a été testé mais n'est pas diffusé pour le moment (figure 31). Les panicules sont peignées par un batteur spécial. Le batteur peut être transversal ou parallèle à l'avancement.

2.2.8.3. Séchage et transformation

On s'intéresse ici aux échelles de l'exploitation et des villages dans les pays en développement. Pour les descriptions techniques détaillées voir le Manuel de conservation des grains en régions chaudes (CEEMAT, 1988).

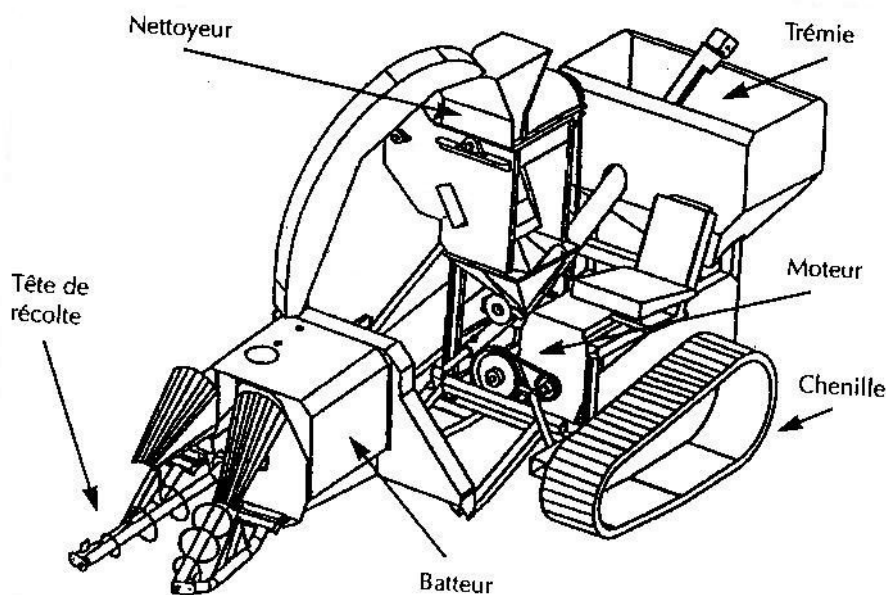


Figure 31 : Stripper à riz.

A. Séchage

Le séchage est nécessaire ou non selon les conditions de récolte et le climat. Il est parfois trop important dans certaines zones sèches d'Afrique tropicale.

Le séchage au champ en gerbes avant battage, puis celui du paddy sur une aire se rencontre principalement dans les pays en développement. Autrefois, dans les pays développés, le paddy était séché sur des « perroquets » installés sur les diguettes des rizières ou sur des aires de séchage. Mais depuis une cinquantaine d'années, le séchage forcé de la récolte est devenu nécessaire avec l'augmentation de la production et donc des volumes à sécher, et avec l'accroissement de l'intensité culturale par la pratique de la double récolte annuelle qui implique que la récolte soit évacuée rapidement. Alors, le séchage au champ n'est plus possible. Le paddy, qui est récolté à plus de 13 ou 14 % d'humidité, doit être séché pour se conserver dans de bonnes conditions.

Des séchoirs de petite à moyenne capacité équipent aujourd'hui de nombreuses exploitations. Les séchoirs sont des investissements à long terme, coûteux en fonctionnement. Ils ont beaucoup évolué ces trente dernières années.

Les premiers, utilisant la combustion du charbon, ont été remplacés par des modèles dont l'air est chauffé par du fuel enflammé. Ils sont ensuite devenus verticaux; l'air réchauffé et pulsé remonte une masse de paddy statique. Dans les suivants, apparus depuis le début des années 80, le

paddy est en mouvement et descend à travers un flux d'air chaud pulsé. Le séchage a lieu en continu.

A la même époque, pour diminuer l'énergie consommée et importée, les japonais ont diffusé le séchage sous serre plastique équipée de simples ventilateurs, dont l'air est réchauffé par « l'effet de serre ». Le paddy suit un cheminement forcé en fonction de l'architecture du séchoir utilisé.

B. Transformation

La transformation « artisanale » du paddy en riz est pratiquée à l'échelle des exploitations, des villages, des groupements de producteurs et des privés dans les pays en développement. Le décorticage est une opération qui enlève les glumes (appelées balles) du grain de paddy et donne le riz cargo. Celui-ci est ensuite blanchi (on enlève le son) dans les proportions moyennes suivantes, très variables selon les situations et les qualités de paddy : 65 à 70% de riz entier et brisé, 12 à 15% de son, 18 à 20% de balles.

Le choix et l'organisation des matériels sont imposés par la qualité du paddy (propreté, mélanges variétaux...), les quantités à transformer (clientèle d'autoconsommation, commerçants...), la qualité du produit fini désiré et les possibilités de valorisation des sous-produits. La recherche d'un produit blanc non brisé de haute qualité a imposé le décorticage au rouleau (figure 32). De très nombreuses marques et modèles de capacités différentes existent en Asie. La consommation dans certains pays de riz brisé, au Sénégal particulièrement, n'entraîne pas d'exigence stricte sur la qualité du paddy au moment de l'usinage. Le réglage et le type de machines ont moins d'importance. Dans ce pays et dans de nombreux autres en Afrique, les décortiqueurs sont des Engelberg (figure 19). La valorisation séparée des sons et de la balle dans certaines situations amènent l'utilisation de matériels dont les décortiqueurs et blanchisseurs sont séparés.

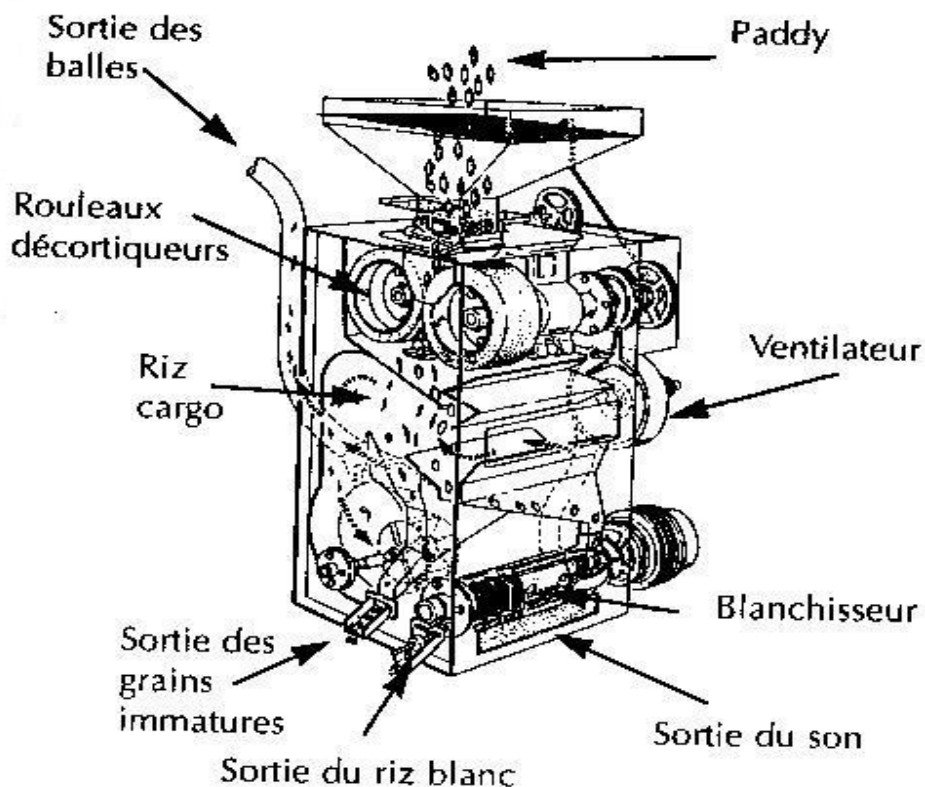


Figure 32. Décortiqueur à rouleaux

Quel que soit le matériel, le fonctionnement est optimal avec:

- un produit propre et calibré; le décortiqueur à rouleau est particulièrement sensible au calibrage;
- un paddy non clivé à 12-14% d'humidité.

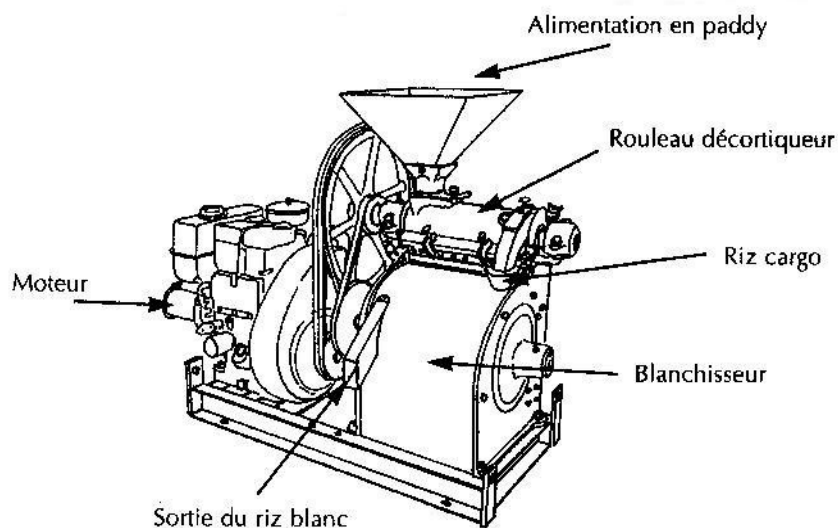


Figure 33 : Décortiqueur Engelberg

En fonction de ces considérations, différentes propositions d'équipement peuvent être faites. Une chaîne de transformation est composée d'un pré-nettoyeur (éventuellement épierreur), d'un décortiqueur (table densimétrique éventuellement), d'un blanchisseur et d'un trieur. C'est une petite usine que certains privés acquièrent maintenant en Afrique. Quand il n'y a pas d'exigences particulières sur la qualité du produit fini, trié par les femmes avant consommation, les machines se réduisent à un décortiqueur (à rouleau ou engelberg), éventuellement combiné à un blanchisseur.

CHAPITRE III : LEGUMINEUSES

3.1. L'arachide

3.1.3. La mécanisation des opérations culturales

La mécanisation de la production s'est développée différemment selon les systèmes de production. Une motorisation intégrale, à l'image des modèles appliqués sur les grandes exploitations américaines ou dans d'autres pays industrialisés (Israël, Australie) est rare. Une attention particulière doit être accordée aux matériels de semis, de récolte et de traitement après-récolte. Le semis, facteur important de rendement, nécessite l'emploi de semoirs adaptés à des graines assez fragiles. La récolte (arrachage, séchage et battage), ainsi que les conditions écologiques et variétales (faible dormance) posent des problèmes techniques et d'organisation de chantiers. Enfin, le conditionnement après récolte varie suivant les modes de commercialisation, les types de marché et la destination des produits. Ainsi, pour l'exportation et la production de semences, qui absorbent près de 10% de la production dans les pays de la zone soudano-sahélienne, il est nécessaire de respecter certaines normes de qualité.

3.1.3.1. La préparation des sols

La culture de l'arachide s'intègre généralement soit en début, soit en fin d'assolement, par exemple : arachide-mil, arachide-sorgho-mil, maïs-sorgho-coton-arachide. Derrière une jachère, elle nécessite un nettoyage préalable du sol, en général par gyrobroyage, avec enfouissement des résidus.

La préparation du sol proprement dite consiste en un ameublissement moyen mais un bon affinage superficiel.

En sol léger, sableux ou sablo-argileux, sans résidus superficiels, le scarifiage par passages successifs avec des matériels à dents est suffisant. Le labour à la charrue, à disques ou à socs est réservé à l'enfouissement de jachères ou d'autres résidus de récolte importants ; il permet d'améliorer la structure du sol et d'agir favorablement sur le rendement.

En sol lourd, le labour profond est préconisé (25 à 30 cm avec enfouissement de tous les résidus de récolte préalablement hachés), suivi du passage d'un matériel à disques ou à dents rigides (herse-cultivateur équipé de socs de scarifiage) pour l'ameublissement superficiel.

Les travaux de reprise après un labour de fin de cycle, avec enfouissement de jachère ou d'engrais vert, s'effectuent à l'aide d'un matériel à disques

(pulvérisateur offset lourd) ou des engins à dents, qui réduisent les mottes sans ressortir les matières enfouies.

Les modes de préparation des sols avant culture varient suivant les types de sols, les conditions pluviométriques, les possibilités d'irrigation ou drainage, les variétés cultivées, et aussi le degré de mécanisation adoptées pour les travaux de récolte :

- Culture à plat en sols légers, peu accidentés, dans les zones à faible pluviométrie ;
- Culture en planches larges correspondant à la voie du tracteur, facilitant les travaux de récolte mécanisée ;
- Culture sur billons dans les zones à forte pluviométrie, ou en irrigué, avec cloisonnement des billons pour limiter l'effet d'érosion.

L'épandage d'engrais de fond est réalisé en surface ou au moment de la préparation du lit de semences, avec éventuellement application de produit herbicide. Un passage de herse légère à dents souples ou rigides favorise la pénétration des produits tout en procédant à un affinage et un nivellement superficiel du sol avec la destruction des adventices à l'état de plantule.

3.1.3.2. Le semis

A. La qualité des semences

La qualité des semences est un élément essentiel de la productivité arachidière. Les chercheurs estiment que l'emploi de semences sélectionnées intervient pour 35 % dans le gain de productivité escompté. La qualité se caractérise par :

- La pureté variétale, premier objectif de la production semencière ;
- La faculté germinative obtenue par une récolte à maturité complète dans de bonnes conditions, et une conservation des gousses évitant les dégâts dus aux moisissures et aux insectes;
- La valeur culturale représentant le poids de semences en coques nécessaire à l'hectare pour obtenir une bonne levée à la densité préconisée pour la variété considérée.

Avec un rendement au décorticage de 70%, et un rendement en graines de 50%, il faut 100 à 150 kg de gousses d'arachides suivant les variétés pour ensemercer un hectare. Par rapport à la production attendue dans les zones de culture d'Afrique, le poids en semences en représente 10 à 20 %, d'où l'attention importante à y accorder.

Les semences doivent être traitées avec un produit fongicide-insecticide. Cette opération se réalise au moyen d'un appareil mélangeur (tonneau incliné rotatif) entraîné manuellement ou par un petit moteur. Les graines sont fragiles et, pour un semis mécanique, il est indispensable d'une part d'avoir des lots homogènes (graines triées ou calibrées), et d'autre part de

veiller au réglage du système de distribution pour éviter les brisures ou blessures.

La date du semis est capitale pour la réussite de la culture. Elle dépend de la longueur du cycle végétatif de la variété utilisée et de la pluviométrie. La maturité de l'arachide doit coïncider avec la fin de la saison pluvieuse.

B. La profondeur de semis

La profondeur de semis varie avec la nature du sol et avec la date de semis par rapport au régime des pluies (en l'absence d'irrigation). En général, plus on avance en saison, plus il faut semer superficiellement pour favoriser une germination rapide. Dans les sols sableux, la profondeur préconisée est de 5-6 cm. Le semis trop profond entraîne un développement chétif des plants et une levée irrégulière. Par ailleurs, la profondeur est liée à l'utilisation d'herbicide (surtout développée aux Etats-Unis) :

- Pour un traitement en prélevée, la profondeur préconisée est de 7 à 8 cm en sols sableux et 6 à 7 cm en sols argileux ;
- L'emploi d'herbicide de post-levée ou la pratique d'un désherbage mécanique imposent de ne pas dépasser 4 à 5 cm quel que soit le terrain.

C. La densité de semis et les espacements

La densité varie essentiellement en fonction des variétés cultivées et des conditions agro climatiques, mais aussi en fonction d'autres facteurs plus techniques comme l'écartement entre les lignes de semis, le type d'irrigation et la grosseur des graines.

Pour les variétés hâtives, l'espacement optimal est de 40 x 15 cm. Soit une densité de 166 000 pieds/ha.

Pour les variétés plus tardives, la densité est réduite à 100 000 ou 120 000 pieds/ha (60 x 15 cm).

Pour la production d'arachide de bouche, comme au Sénégal dans la zone de pluviométrie comprise entre 400 et 800 mm, l'optimum recherché est variable suivant les variétés :

- Variété type « Virginia » à grosses graines : 80 000 pieds/ha ;
- Variété type « Runner » à graines moyennes : 135 000 pieds/ha.

En culture mécanisée, il est nécessaire d'adapter ces densités/hectare de façon à tenir compte :

- Des modes de culture (semis à plat ou sur billons, en culture pluviale ou avec irrigation) ;
- Des pertes au semis ou en cours de levée ;

- Des possibilités d'utiliser des machines pour les désherbages mécaniques ;
- Des modes de récolte (lignes jumelées pour les souleveuses) ;
- Du recouvrement du sol par les plantes qui doit être le plus important possible pour limiter les phénomènes d'érosion.

Par exemple :

- Semis à plat en lignes simples (espacement = 60 cm) ou en lignes jumelées (espacement = 80-20 cm ou 90 -15 cm) ;
- Semis en bande de 2 lignes (espacement = 90 - 71cm) ou de 4 lignes (espacement = 82-33-36 ou 86-33-41-31 cm) ;
- Semis sur billon en lignes simples ou jumelées (écartement entre billons : 80-90 ou 100cm) ;
- Semis sur la ligne tous les 7-10 cm de façon à obtenir à la levée un écartement moyen de 15 cm.

c.1. Les semoirs

Le semoir monograine est le plus utilisé (figure 34):

- Semoir à un rang en culture attelée asine ou bovine légère (avec parfois une adaptation par le couplage de deux semoirs) ;

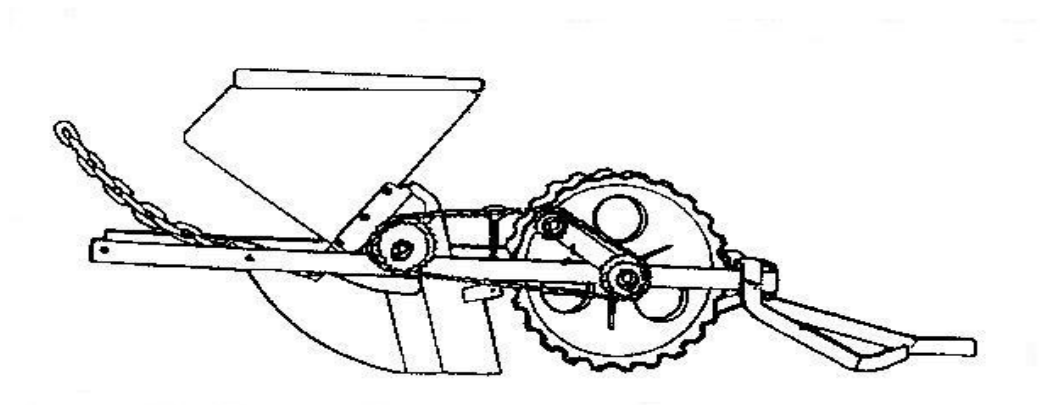


Figure 34. Semoir mécanique monograine (Ebra)

- Un ou deux éléments de semoirs adaptés derrière un motoculteur ;
- Deux à huit éléments ou plus, de semoirs montés sur une barre porte-outils derrière un tracteur agricole.

Sur ce type de semoir, chaque élément comporte:

- Un dispositif d'ouverture du sillon, en forme de coute cintré en $\frac{1}{2}$ lune, de disque simple ou double, accompagné le plus souvent d'un contrôle de la profondeur ;
- Un mécanisme de distribution de type mécanique, le plus près possible du sol pour améliorer la précision (plateau alvéolé ou cranté, incliné, entraîné en rotation et puisant les graines au fond de la trémie), ou de type pneumatique (disque vertical et perforé, sur lequel s'appliquent les graines en face des trous, sous l'effet d'une dépression provoquée par une turbine);
- Un dispositif de fermeture du sillon composé de rasettes (ou raclettes), placées derrière l'organe d'enterrage, qui affleurent le sol et repoussent la terre foisonnée sur la graine tombée dans le sillon ;
- Un organe de tassement composé de roues plumbeuses montées à l'arrière du bâti, qui termine le recouvrement et assure le tassement sur la ligne de semis. Ces roues sont formées de deux ou plusieurs flasques métalliques, indépendantes, avec parfois un revêtement caoutchouc utilisé en terre collante pour faciliter le débouillage.

Le mécanisme de distribution est entraîné soit par la roue plumbeuse arrière, au moyen de chaînes métalliques, soit par des roues latérales métalliques ou à pneumatiques crantés, avec un mécanisme sous carter-étanche. La plupart des semoirs sont polyvalents et utilisés pour le semis d'autres cultures en remplaçant le distributeur (maïs, sorgho, soja ou haricot).

La vitesse de travail influe fortement sur la régularité du semis. Avec les semoirs à disques distributeurs obliques (inclinés à 60° par rapport à l'horizontale), les graines ont tendance à « décrocher » au cours des chocs, pour retomber au fond de la trémie en créant des manques ; la vitesse ne doit pas excéder 3 à 4km/heure. Les semoirs à distribution pneumatique ne présente pas ces défauts, mais la vitesse préconisée ne doit pas dépasser 7-8 km/h.

3.1.3.3. La fertilisation des cultures

En sols pauvres, la fumure minérale est nécessaire, mais les doses appliquées sont souvent faibles en Afrique. La formule la plus courante consiste en un apport d'engrais ternaire au moment du semis. Selon la présentation des produits (granulés, pulvérulent), les épandeurs à engrais courants sont utilisés, mais les appareils pneumatiques sont plus précis. En sols acides, un amendement alcalin est recommandé. Le produit solide, présenté en général sous une forme broyée, est épandu au moyen d'un épandeur à distribution mécanique, pendulaire ou centrifuge.

3.1.3.4. L'entretien des cultures

La lutte contre le développement des adventices s'opère à divers stades de la culture :

- Immédiatement après le semis, mais avant l'apparition des jeunes plantes, pour détruire les adventices à l'état de plantules : c'est l'opération de « radou » ;
- Après l'apparition des plantes, en évitant toutefois un passage dans les 8 à 10 jours suivant la levée, période pendant laquelle le plan d'arachide est fragile : c'est le sarclage ;
- en cours de culture, par un ou deux passages dans les interlignes, complétés éventuellement d'un désherbage manuel sur la ligne le plus tôt possible, avant que la plante ne recouvre entièrement le sol.

L'emploi de produit herbicide est rare sur la culture de l'arachide dans les exploitations africaines. Et même aux Etats-Unis, sur de grandes exploitations, l'entretien mécanique est associé, voire remplace le traitement herbicide.

A. L'opération de « radou »

L'opération de radou est réalisée sur toute la surface avec une herse légère à dents souples (Weeder) dans les 48 heures après le semis. Le radou permet de détruire les adventices entre la phase de germination et celle de l'enracinement. Cette opération ne peut s'appliquer qu'en culture à plat. Elle doit être superficielle (1 à 2 cm), en évitant de blesser ou d'arracher les jeunes plants d'arachide et de remonter des résidus mal enfouis. Elle est menée en général à grande vitesse (7 à 10Km/h), mais son action est totalement inefficace sur les adventices enracinées.

B. Le sarclage

Deux types de matériels sont utilisés pour détruire les adventices qui se développent dans les interlignes : les matériels à dents souples ou rigides équipés de socs, appelés sarclobineuses, et les matériels rotatifs appelés bineuses rotatives ou « rotary-hoes ».

c.1. Les sarclobineuses

Des dents rigides ou flexibles équipées de socs étroits sont montés sur un châssis pour le travail dans un ou plusieurs interlignes :

- Bâti monopoutre ou en triangle équipé de 3 ou 5 dents pour le travail d'un interligne en culture attélee ;
- Bati cadre rigide ou déformable pour le travail sur plusieurs rangs ;
- Elements indépendants adaptés aux interlignes et montés sur un bati par des parallélogrammes déformables permettant de travailler à grande vitesse avec un tracteur.

Pour des semis en lignes jumelées, seul le grand interligne est travaillé. La profondeur de travail est limitée à 3-5 cm pour assurer le déracinement des adventices. En général, deux passages sont nécessaires avec les

variétés érigées pour lutter efficacement contre le développement des mauvaises herbes dans les interlignes.

c.2. Les bineuses rotatives

Les bineuses rotatives sont surtout utilisées aux Etats-Unis, en Australie et en Afrique du Sud. Les dents, réunies en forme de disque autour d'un axe, sont entraînées en rotation au cours de l'avancement, tout en pénétrant légèrement dans le sol (1 à 3 cm). L'extrémité taillée en forme de cuillère lève des copeaux de terre tout en détruisant les tiges et racines des mauvaises herbes (figure 57). Les éléments réunis pour travailler sur un ou plusieurs interlignes sont traînés à grande vitesse (8 Km/h). Un double passage améliore le travail, mais reste insuffisant pour détruire les adventices bien enracinées.

Sur les rotoculteurs, les disques ont une orientation oblique par rapport au sens de l'avancement et le travail est plus efficace.

C.3. Le billonnage et le chaussage

En culture à plat, le dernier sarclage est parfois remplacé par un léger buttage favorable à la fructification et qui facilitera l'arrachage.

En culture sur billon, le passage d'un corps billonneur détruit les adventices dans le sillon, et ralentit le développement des mauvaises herbes, latéralement, en les recouvrant de terre.

3.1.3.5. La protection phytosanitaire des cultures

Depuis les années 1970, le développement d'une maladie virale, la « rosette », a conduit à la quasi-éradication de la culture de l'arachide dans certaines zones à forte pluviométrie (Nigeria). Grâce aux résultats de la recherche, des variétés résistantes sont disponibles qui ne nécessitent aucun traitement.

Des maladies d'origine fongique peuvent apparaître en cours de végétation. La rouille et les cercosporioses sont les plus importantes. Elles entraînent parfois des pertes de rendement importantes. D'autres affections (attaques de nématodes, de myriapodes, de cryptogames divers) sévissent avec une intensité variable.

Quelques traitements nématicides ont été faits en motorisation et en culture attelée au Sénégal. L'injection de produit dans le sol est réalisée à l'aide d'appareils portés sur tracteur ou d'un appareil porté sur tracteur ou d'un appareil monté sur semoir à traction animale.

3.1.3.6. La récolte

La récolte est soumise à deux contraintes importantes. Tout d'abord, il importe de récolter l'arachide à maturité très précise, d'une part pour garantir une semence de qualité, ou un rendement optimal en huile, et

d'autre part pour éviter, la germination des graines en terre en cas de retard, pour des variétés où le phénomène de « dormance » est faible (variétés de type spanish). Ensuite, le durcissement prématuré du sol peut entraîner un fort pourcentage de restes en terre et une usure très rapide des outils. Or, la détermination de la maturité est délicate car aucun symptôme bien caractéristique n'existe permettant de la déterminer sans erreur. Pour les variétés de type Virginia, c'est l'aspect des feuilles tirant sur le jaune et la couleur brune de l'intérieur de la coque qui sont les meilleurs indicateurs.

Les deux principales techniques de récolte de l'arachide sont le soulèvement et l'arrachage.

Au soulèvement, la racine pivotante est coupée juste au-dessous du plateau formé par les gousses; la terre est plus ou moins ameublie autour du pied et ce dernier est dégagé du sol.

A l'arrachage, l'arachide est sortie de terre et déplacée, éventuellement mise en andain. Après une période de séchage sur le champ, les arachides sont regroupées en tas ou en andains suivi directement du battage (égoussage en vert) ou d'un séchage prolongé avec battage ultérieur à poste fixe.

A. Le soulèvement

En Afrique, le soulèvement manuel est réalisé à l'aide d'un outil simple (l'iler ou la daba) nécessitant en moyenne 20 journées de travail par hectare. Cette méthode relativement pénible est pratiquée pour la récolte sur des petites parcelles.

a.1. Les souleveuses

La récolte mécanisée s'est développée en même temps que l'accroissement des surfaces cultivées, mais avec plus ou moins de succès selon les pays ou les régions, les systèmes de production, la destination et le prix d'achat des produits.

En culture attelée, des lames ont été adaptées sur les machines polyvalentes pour le soulèvement des arachides semées en lignes. Les plus courantes sont:

- Les lames en pointe de flèche convenant à tous les types de sol ; ce type de lame, fixé par boulons sur un étançon fortement galbé ne bourre pratiquement jamais.
- Les lames de fabrication artisanale, ayant la forme d'une grande iler et dont l'utilisation se développe actuellement.

La traction équine (un seul cheval) ou bovine légère (une paire de boeufs) suffit pour le soulèvement d'un rang. L'effort nécessaire ne dépasse pas 50 kg, et le temps de travail 2 à 3 jours/ha (13 à 15 heures de travail). Mais

cet effort croît rapidement quand le sol durcit, avec une augmentation importante des pertes de gousses restées en terre.

En petite motorisation, une lame de soulèvement en forme de pointe de flèche est adaptée derrière le motoculteur, avec un montage sur un étau coudé en col, le cygne pour faciliter le débouillage.

Des lames de soulèvement ont été conçues pour s'adapter sur un bâti monté sur le relevage arrière des tracteurs. De forme et de conception proches de celles employées en culture attelée, mais plus robustes, leur largeur est adaptée au soulèvement de deux rangs. Le modèle le plus utilisé est la lame oblique avec un angle d'attaque voisin de 30°, boulonnée à l'extrémité antérieure, sur une palette solidaire de l'étau. La lame droite à un ou deux étaux est pratiquement abandonnée.

Un tracteur de puissance de 25 à 30 ch suffit pour le soulèvement de 2 rangs espacés de 60 cm ou de 2 lignes jumelées avec un temps moyen de récolte de 3 heures par hectare. Avec un tracteur de plus grande puissance (45 à 50 ch), le montage à 2 lames permet de récolter 4 rangs, en travaillant sur une largeur d'environ 1,5 m à 2 m. Des barres métalliques en forme de doigts, fixées à l'arrière de la lame, assurent un certain secouage avec élimination partielle de la terre. Les étaux placés latéralement limitent le phénomène de bourrage. Les principaux réglages portent sur :

- la profondeur de travail, en modifiant la position des roues de contrôle.
- l'entrure, en agissant sur la longueur du bras de 3 point du relevage;
- la largeur de travail, en choisissant la lame adéquate.

a.2. Les souleveuses vibreuses

Un matériel dérivé d'une récolteuse de légumes a été expérimenté pour la récolte de l'arachide au cours des années 80, assurant le secouage des pieds et favorisant de ce fait le séchage au sol. Il s'agit d'une arracheuse de carottes, de marque Simon (figure 35), s'adaptant derrière des tracteurs de faible puissance (20 ch). Elle se compose d'une lame droite, fixée à chaque extrémité par deux étaux, et prolongée à l'arrière par un tablier vibrant à doigts, entraîné par la prise de force. Plusieurs réglages sont possibles: profondeur, entrure, largeur de travail (lames de 0,90 -1,2 m ou 1,4 m), amplitude de vibration du tablier, permettant de s'adapter aux différentes conditions de travail et de sol. Avec la lame de 0,90 m, un tracteur de faible puissance (à partir de 20 ch) suffit pour tracter une souleveuse à 2 rangs, à raison de 4 heures par hectare. Ce matériel de conception simple est encore peu utilisé.

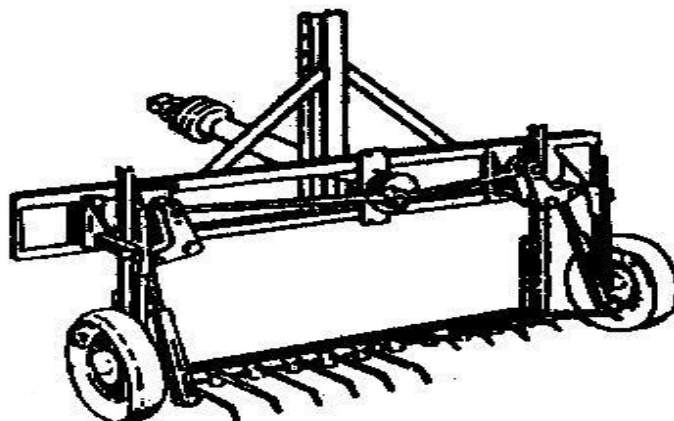


Figure 35. Souleveuse-vibreuse Simon.

B. L'arrachage

L'arrachage direct qui consiste à extraire le pied du sol en tirant sur le feuillage est la technique la plus ancienne. Des machines ont été conçues dans ce sens avec un dispositif assurant un ameublissement préalable du sol de façon à limiter les pertes.

b.1. Les arracheuses par pincement

Sur les premières arracheuses, des lames souleveuses étaient placées sous le tracteur, et deux chaînes agricoles entraînées en rotation à l'arrière jouaient le rôle d'arracheuse. Sur les machines actuelles, les chaînes sont remplacées par des roues à pneumatiques. Des lames souleveuses équipées de dispositifs de sécurité effacement en cas d'obstacle, sont montées sous le tracteur ou sur le bâti à l'avant de la machine. L'arrachage se fait par pincement des fanes entre les pneumatiques, entraînés en rotation par la prise de force dans un plan quasi horizontal.

Ces machines sont principalement utilisées en Australie où elles ont été mises au point; elles sont conçues pour la récolte sur 2 rangs et comportent 7 roues à pneumatiques. Ceux-ci, gonflés à basse pression gardent une certaine souplesse et restent en contact. Les pieds d'arachide guidés par des déflecteurs métalliques sont rassemblés à l'arrière en un seul andain. Ces machines sont utilisées essentiellement dans des terres très sableuses et souples à la récolte.

b.2. Les arracheuses-secoueses-andaineuses

Les arracheuses-secoueses-andaineuses ont été conçues pour les systèmes de production en grandes cultures entièrement mécanisées et sont largement utilisées dans les pays industrialisés (Etats-Unis, Afrique du sud, Australie...). Plusieurs marques et modèles sont présents sur le marché, s'adaptant sur le relevage arrière d'un tracteur pour la récolte de

2 rangs (1,20 à 1,70m) ou de 4 rangs (2,50 à 3 m). La principale différence de conception réside dans le système de secouage :

- à rouleaux avec plusieurs rangées de disques crantés ;
- à tablier incliné, formé de barres métalliques hérissées de dents, en mouvement.

Les machines sont dotées :

- D'un équipement de soulèvement à l'avant comportant en général 2 lames obliques sur lesquelles sont fixés des doigts métalliques;
- D'un système élévateur assurant en même temps le secouage de pieds d'arachide pour retirer le maximum de terre ;
- Eventuellement, d'un dispositif andaineur composé de déflecteurs métalliques assurant la formation d'un andain regroupant plusieurs rangs et facilitant la reprise pour le battage.

b.3. Les arracheuses-secoueuses à rouleaux

Dans les arracheuses-secoueuses à rouleaux, le système secoueur est formé de plusieurs rangées de disques crantés, entraînés en rotation à vitesse lente par l'intermédiaire d'une transmission (pigeons-cardans-chaines) à partir de la prise de force, assurant une progression des plants par saccade, qui subissent un secouage avant de retomber en vrac à l'arrière. Mais ce genre de machine est de moins en moins utilisé.

b.4. Les arracheuses-secoueuses à tablier

Des lames souleveuses placées à l'avant de la machine sont prolongées de doigts métalliques fixes, mais qui peuvent être animés d'un mouvement saccadé par un système de bielle sur certains modèles. Le secoueur est constitué d'un tablier incliné formé de barres métalliques hérissées de dents et montées sur deux chaînes sans fin. L'entraînement se fait par la prise de force avec une transmission par cardan et courroies trapézoïdales sur les modèles les plus courants. Deux déflecteurs arrière assurent la formation d'un andain (figure 37). Les principaux réglages portent :

- Sur la profondeur de travail en modifiant la position des roues ;
- Sur l'entrure des lames en agissant sur la longueur du 3 points;
- Sur la largeur de travail par changement de lame ;
- Sur l'inclinaison du tablier qui fait en même temps fonction de pick up ;
- Sur la largeur de l'andain à l'aide des déflecteurs.

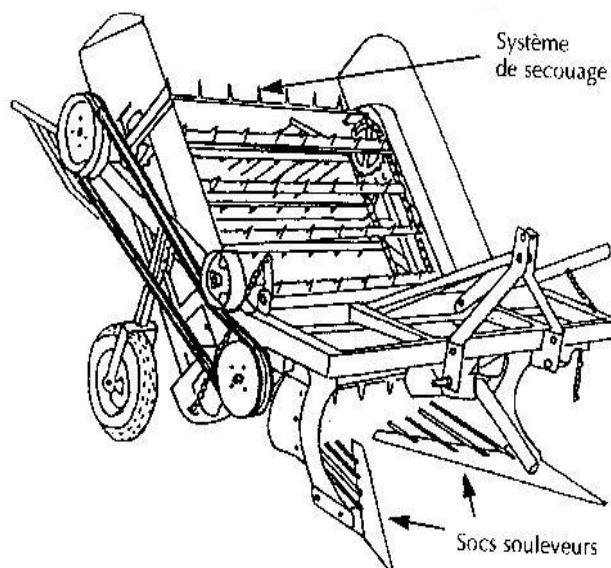


Figure 36. Arracheuse-secoueuse-andaineuse à tablier (Liltiston, Etats-Unis).

Ces machines sont actuellement les plus utilisées. La puissance nécessaire est fonction de la largeur de travail et de la dureté des sols au moment de la récolte. Par exemple, avec un tracteur de puissance moyenne (50 ch) en terre légère, la récolte de 4 rangs (largeur de 1,5 m à 2 m) se fait à raison de 1h 30 à 2 h par hectare. Mais la qualité des travaux antérieurs (ameublissement du sol, régularité du semis) conditionne en grande partie la facilité de la récolte. Il est impératif que le terrain soit entièrement dessouché sous risque d'endommagement grave du matériel. Certains modèles présentent différents éléments complémentaires comme :

- Un couteau circulaire placé à l'avant pour couper les tiges rampantes juste avant l'arrachage;
- Un rouleau plombé arrière pour tasser la terre sur laquelle reposera l'andain
- Différents dispositifs de réglages d'inclinaison et d'orientation du tablier secoueur;
- Parfois, une combinaison des deux systèmes de secoueurs (tablier et rouleaux) de façon à obtenir un secouage plus énergique.

3.1.3.7. Le séchage au sol ou ressuyage

Au moment de l'arrachage, le feuillage de l'arachide contient 60 à 80% d'eau, et les gousses sont encore à 35% d'humidité. En conditions climatiques relativement sèches, le séchage au sol en 2 ou 3 jours ramène le taux d'humidité des gousses à 20-25 %, favorable au battage mécanique. En conditions climatiques plus humides, le séchage est retardé, entraînant des risques de moisissures voire de pourrissement des

coques, et plusieurs techniques sont préconisées, comme la coupe des fanes ou le fanage des andains.

3.1.3.8. La coupe des fanes

La coupe préalable des fanes par fauchage de la partie aérienne, un ou deux jours avant la récolte par soulevage, permet de d'éliminer les feuilles, facilitant le séchage ultérieur ; mais dans le cas d'arrachage mécanique, il est nécessaire de conserver le maximum de tiges. Cette méthode, préconisée pour la récolte en zone humide, a été appliquée dans certaines régions des Etats-Unis en utilisant des faucheuses de type débroussailleuse à couteaux horizontaux. Cependant, elle n'est pas recommandée pour certaines variétés d'arachide de bouche.

3.1.3.9. Le fanage des andains

Pour accélérer le séchage, les Américains pratiquent la méthode dite des « andains retournés » qui consiste à placer les gousses vers le haut. Celles-ci ne prennent pas l'humidité du sol et les pertes au ramassage des ramasseuses-batteuses sont réduites. Le fanage des andains se fait au moyen de machines dont, les plus courantes sont dérivées des récolteuses à tablier, auxquelles on aurait retiré le dispositif de soulevage avant. Sur les secoueurs-andaineuses à tablier, un rouleau plombeur arrière retasse la terre favorisant la reprise du nouvel andain pour le battage. Conditions plus humides, le séchage au champ se fait sur perroquet, complété éventuellement par un séchage artificiel des gousses à poste fixe après battage.

Toutes ces techniques (fauche, fanage, secouage) entraînent un effeuillage important des tiges, qui déprécie la qualité d'un fourrage très recherché dans certaines régions.

3.1.3.10. Le battage

Le battage consiste à séparer les gousses des fanes. Il peut se faire :

- après ressuyage, il s'agit alors du battage en vert préconisé dans certains cas pour obtenir des arachides de bouche de qualité ;
- après un séchage prolongé, c'est le battage en sec.

Le battage traditionnel au fléau à main demande beaucoup de temps. Voici par exemple les temps de travaux en battage traditionnel au Sénégal:

- Mise en meule : 10 h/ha ;
- Battage : 70 h/ha ;
- Vannage : 70 h/ha ;
- Total : 150 h, soit 20 jours par hectare

La battage mécanique est effectué soit à post fixe avec des batteuses, déplacées sur le champ pour travailler à proximité des arachides rassemblées en meules, soit en continu par ramassage direct des andains au moyen de ramasseuses- batteuses traînées par un tracteur.

A. Les batteuses

Les batteuses à arachide, utilisées actuellement à poste fixe, sont des machines de conception relativement simple et de faible capacité (moins d'une tonne/heure). Elles sont mobiles et utilisées par des exploitants ou des groupements de petits producteurs. Ces machines se composent:

- Du dispositif de battage (bateur et contre-bateur) séparant les coques et fragmentant les tiges en bâtonnets;
- Du système de nettoyage par ventilation avec éventuellement des grilles séparatrices;
- du dispositif de reprise des coques pour l'acheminement vers la bouche d'ensachage.

Les moyettes sont déposées sur une table d'alimentation placée en avant du bateur. Un ou deux servants démêlent les paquets de végétation pour faciliter le battage. Les tiges fragmentées, coques vides et autres résidus légers sont expulsés vers l'arrière, formant un tas relativement compact, pouvant être utilisé comme fourrage pour les animaux.

Les modèles les plus légers, d'origine asiatique, sont de faible capacité (100 à 150 kg /heure). Ils sont entraînés par des petits moteurs (1 à 2 ch) et facilement transportable. Des modèles plus lourds ont une plus grande capacité (500 à 800 kg/heure). Ils sont semi-mobiles, c'est-à-dire montés sur un essieu avec des roues pneumatiques, entraînés par un moteur auxiliaire de 8 à 10 ch. Ils peuvent être déplacés à l'aide d'une paire de bœufs ou tracteur. Ce dernier entraîne parfois ces batteuses par la prise de force.

a.1. Les ramasseuses-batteuses

Le travail en continu sur andain se fait au moyen de ramasseuses-batteuses semi-portées derrière un tracteur et entraînés par la prise de force. Au travail, le tracteur chevauche l'andain qui a subi un pré-séchage. Celui-ci est ramassé par un pick-up dont la hauteur au sol est réglable. Le cylindre d'alimentation équipé des dents métalliques fines et souples canalise le produit vers le système de battage où s'opère une séparation progressive des gousses. Les gynophores sont coupés en fin de séparation (figure 38).

Le dispositif de battage est composé de plusieurs cylindres sur lesquels sont montées des barres équipées de dents jumelées fines et souples. A chaque cylindre correspond un contre-bateur formé de grilles ajourées, à petites mailles pour les premières et à mailles plus larges en arrière, au travers desquelles passent les gousses.

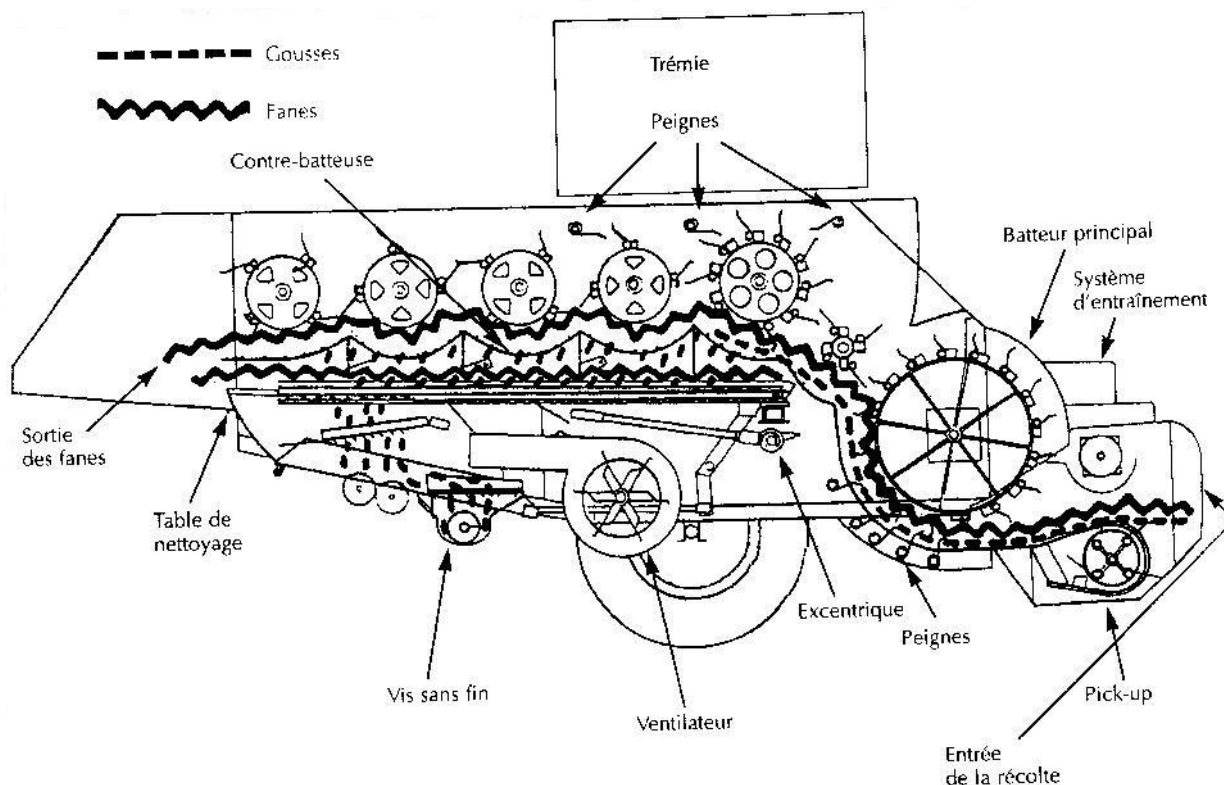


Figure 38. Principe de fonctionnement d'une ramasseuse-batteuse (Lilliston)

Le dispositif de séparation des fanes et des gousses après battage est constitué de pales séparatrices, équipées de dents souples avec des contrepales formées par des grilles à mailles larges. Sur d'autres modèles, la séparation se fait sur des secoueurs articulés, assurant en même temps l'évacuation des fanes vers l'arrière.

Le dispositif de nettoyage, situé sous les pales séparatrices (ou sous les secoueurs) est composé:

- D'un jeu de grilles animées d'un mouvement alternatif pour le triage des gousses;
- D'un ventilateur pour l'évacuation des déchets légers;
- D'une table à 3 rangées de scies à gynophores.

Le système de stockage des gousses se compose:

- D'une vis d'alimentation transversale à la sortie des grilles;
- Du convoyeur pneumatique alimenté par un ventilateur;
- D'une trémie de réception de grande capacité, avec un dispositif de vidange.

Les fanes sont évacuées à l'arrière et abandonnées sur le terrain.

La vitesse de travail préconisée varie de 3 à 7 km/h. Le rendement de ces machines est élevé (plus d'une tonne/heure, avec un tracteur de puissance supérieure à 50 ch), mais nécessite une organisation de chantier de façon à faire synchroniser le soulèvement et le battage. Elles permettent aussi bien la récolte en vert (après ressuyage) que le battage en sec, moyennant certaines modifications des réglages. En fait, la qualité du travail dépend en grande partie de la précision de ces réglages, conditionnés par l'état du produit au moment du battage (humidité des gousses, abondance des fanes...). Pour la production d'arachide de bouche, il est indispensable d'avoir le maximum de bonnes gousses intactes et qui ne soient pas marquées par la batteuse (qualité 1^{er} choix exportable). Par contre, pour la production d'arachide d'huilerie, le battage peut être plus énergique avec un rendement plus élevé. Les gousses sont ensuite séchées ou stockées suivant leur état d'humidité.

a.2. Les moissonneuses-batteuses modifiées

Certains modèles de moissonneuses-batteuses à céréales comportent une adaptation pour la récolte des arachides: pick-up, cylindre de battage. Mais ces machines automotrices à grand rendement sont d'un investissement élevé, ne pouvant se justifier qu'en polyculture très évoluée, ou en équipement collectif traitant des céréales et autres oléagineux.

B. Les arracheuses-batteuses

Des machines ont été mises au point pour la récolte directe en vert, combinant l'arrachage suivi immédiatement de l'égoussage. Le principe est le suivant: à l'avant, une lame assure le soulèvement (en général 2 rangs jumelés); puis, l'arrachage et le convoyage se font par pincement des fanes entre 2 courroies; en aval, un batteur assure l'égoussage; enfin, le nettoyage des gousses séparées se fait sur des grilles ventilées. Cette technique de récolte à fort taux d'humidité est encore peu répandue.

3.1.3.11. La transformation

Dans certains pays d'Afrique, les femmes transforment les graines pour pouvoir vendre l'huile sur le marché. La transformation d'une quantité importante est possible lorsqu'elles peuvent utiliser le moulin qui sert pour les graines de céréales (type à disques rotatifs). Il faut cependant que le meunier accepte, car le moulin s'encrasse facilement lors du traitement de ce type de graines.

CONCLUSION

La culture de l'arachide s'est développée sur des exploitations familiales en Afrique dans les années 60. La production d'huile et de tourteau est principalement destinée à la consommation alimentaire. Une partie

seulement est réservée à la commercialisation pour la transformation industrielle ou l'exportation. Les modes de culture sont très variés et les structures de production se prêtent difficilement à la mécanisation de tous les travaux.

En agriculture traditionnelle, le niveau de mécanisation reste faible, dépassant rarement le stade de la culture attelée, avec emploi d'un multicultureur. D'un semoir monorang et d'une lame souleveuse, et quelquefois d'une batteuse. Cet équipement simple et peu coûteux est actuellement difficile à renouveler compte tenu du contexte économique local et de la faible rémunération tirée de cette culture, dont les produits sont principalement autoconsommés, et les excédents commercialisés à un prix relativement bas. Ces conditions difficiles ne permettent pas l'emploi d'engins motorisés, spécifiques de la culture de l'arachide (machines de récolte). La culture pratiquée actuellement sur des petites exploitations dans quelques pays africains (Sénégal, Malawi) est peu motorisée, voire difficilement motorisable, compte tenu de la taille des parcelles et des structures d'exploitations.

A l'opposé, dans des pays industrialisés comme les Etats-Unis ou Israël, la culture orientée vers la production d'arachide de bouche et de confiserie est entièrement mécanisée depuis longtemps. Les techniques culturales, préparation des sols, qualité des semis, entretien des cultures, sont identiques. Mais des variétés différentes (à grosses graines) nécessitent toutefois un plus grand soin à la récolte (égoussage en vert, triage et protection des gousses). Le produit de premier choix est acheté au producteur à un prix plus élevé. Les refus sont envoyés à l'huilerie (y compris ceux contaminés par l'aflatoxine, éliminée au cours du processus de raffinage).

La production de fourrage - à partir des fanes au moment de la récolte - est intéressante pour l'alimentation animale dans les régions à climat sec. Elle constitue un revenu d'appoint non négligeable pour les producteurs. Il est possible de la commercialiser sur les marchés locaux. Dans certaines zones très sèches, l'arachide est cultivée pour les fanes et elle est récoltée avant maturité pour disposer de fanes de qualité. Enfin, dans les unités industrielles, les coques sont utilisées comme source énergétique pour produire de la vapeur.

3.2. Le Soja (Glycine max L. Merrill)

3.2.3. La mécanisation des opérations culturales

3.2.3.1. La préparation du sol

La préparation du sol est une opération primordiale bien qu'elle ne nécessite ni technique particulière, ni matériel spécifique. En terrain sec, il est préférable de travailler avec des outils à dents rigides provoquant un éclatement du sol en profondeur (25-30 cm), donc un terrain motteux

favorable à la pénétration des premières pluies, suivi d'une opération de reprise avec des outils à dents souples (vibroculteur) ou d'engins à disques (cover-crop) pour détruire les adventices développées en surface.

En terrain humide, le labour à la charrue à soc est conseillé, sous condition d'un décompactage profond périodique avec une sous-soleuse. Le labour est généralement repris par un ou plusieurs passages d'outils à dents de type chisel.

En conditions pluvieuses difficiles, le labour est déconseillé. Il est préférable de s'orienter vers des techniques de semis direct avec une préparation minimum du sol (travail superficiel sur la ligne de semis), ou un ensemencement direct sans travail du sol, avec conservation des résidus de récolte constituant une protection efficace contre l'érosion (mulch). Dans ce cas, la maîtrise de l'enherbement doit être assurée séparément avec l'application d'un traitement herbicide approprié.

3.2.4. Le semis

La qualité du semis (régularité de la répartition sur la ligne et en profondeur, densité, recouvrement des graines...), lié étroitement à la qualité du lit de semences, conditionne en grande partie la réussite de la culture et la facilité de récolte.

A. La profondeur

L'optimum se situe vers 3cm. A cette profondeur, la semence est maintenue dans un milieu humide favorable à la germination et n'a qu'une faible épaisseur de sol à soulever pour que la plantule émerge. Avec un semis trop superficiel, la graine est soumise à des alternances de dessèchement et d'humidification, ainsi qu'à des températures trop élevées, défavorables à sa germination.

a.1. La densité de peuplement

La tige principale est la plus fructifère. Pour obtenir les meilleurs rendements, on cherche à réaliser un peuplement assez dense: 300 000 à 500 000 pieds/ha, selon les variétés et les conditions pédoclimatiques. Les besoins en semences varient de 3 5 à 80 kg/ha (moyenne : 50 kg/ha; poids de 1 000 graines: 100 à 200 g suivant les variétés).

En culture mécanisée, le semis est réalisé à plat, en lignes simples ou jumelées dont les écartements de 50 à 60 cm permettent le sarclage mécanique. En culture sur billon (non mécanisée), la densité préconisée est en général plus faible. En employant des herbicides, l'écartement peut être réduit (variable suivant les types de semoirs), garantissant une meilleure exploitation et un recouvrement plus rapide du sol par la plante.

Le semis est réalisé à l'aide de semoirs en ligne ou des semoirs monograines. Les semoirs en ligne, équipés d'un dispositif de distribution

adapté au semis de grosses graines (distributeur à ergot), donnent une répartition et une profondeur de semis assez irrégulières, mais leur emploi est aisé. Le semoir monograine est préférable pour une meilleure régularité du semis. Il est équipé d'une distribution mécanique par disque horizontal ou incliné, disposé en fond de trémie, ou d'une distribution de type pneumatique. Avec un dispositif mécanique, la taille des alvéoles et l'épaisseur du disque doivent être adaptés à la grosseur des graines, qui est variable suivant les variétés et augmente avec l'enrobage. Le dispositif de type pneumatique supprime cette contrainte. Le choix du soc semeur (étroit, incurvé, circulaire) dépend des conditions et de l'état du sol au moment du semis, en particulier des risques de bourrage.

En semis direct, un disque circulaire de grand diamètre tranche la végétation en surface et ouvre le sol avant le passage du soc. Le recouvrement est nécessaire, mais sans tassement.

3.2.5. La fertilisation et les amendements

Généralement, aucune fumure minérale n'est appliquée. Toutefois, elle peut être utile en double culture, surtout avec un enfouissement de matière organique important (paille de riz). Elle permet de compenser une « faim » d'azote au moment de la décomposition de la matière organique, ou encore pour corriger certains déséquilibres phospho-potassiques.

En culture « continue », les sols tropicaux s'acidifient. Il est nécessaire d'apporter périodiquement, et en grande quantité, des amendements calciques et magnésiens. Ces produits sont épandus en surface au moyen d'un épandeur d'engrais à distribution pendulaire ou centrifuge, puis enfouis par un passage d'outil de travail superficiel du sol. Sur le périmètre agro-industriel de Boumango au Gabon, par exemple, le faible pH du sol (de l'ordre de 5,2 à est compensé par un apport de chaux magnésienne et de dolomie de 0,5 t/ha par an, après 15 années de culture intensive en continu.

3.2.6. L'entretien des cultures

La culture du soja est particulièrement sensible aux adventices, dont la concurrence peut entraîner des pertes de rendement de 50 à 80 %. Il est donc indispensable de maintenir la culture propre, au moins les 45 premiers jours du cycle végétatif. Le sarclage mécanique est possible dans un semis en lignes simples ou jumelées, avec un grand écartement (supérieurs à 50 cm). Sur un terrain bien préparé, deux passages sont nécessaires pour une opération limitée à un travail superficiel de binage. On emploie des sarcleuses ou de sarclo-bineuses portées arrière, dont la largeur de travail est identique à celle du semoir. Le désherbage par herbicide est souvent pratiqué en grande culture :

- soit en pré-levée, généralement, 48 heures après le semis, en appliquant un produit qui bloque la germination des

adventices. Ce traitement peut être combiné, si nécessaire, avec un herbicide de contact qui détruit les adventices déjà enracinées :

- soit en post-levée avec application de produits anti-dicotylédons et anti-graminées qui agissent sur les adventices à l'état de plantule.

Les traitements ne sont pas systématiques et doivent être appliqués au bon moment, avec des produits et des dosages appropriés. Les traitements les plus courants se font au moyen d'un pulvérisateur à rampe, porté ou trainé, ou éventuellement par avion.

3.2.7. La protection des cultures

Aucun traitement phytosanitaire n'est appliqué en général sur les cultures. En cas d'infestation de bactéries ou cercosporioses, il est préconisé de cultiver des variétés résistantes.

3.2.8. La récolte

La récolte est réalisée en 20 jours suivant la période de maturité, sans risque de perte importante par déhiscence des gousses. Dans le cas d'une production paysanne, la récolte est effectuée manuellement, les tiges et gousses sont en meule en attendant le battage. Celui-ci est réalisé avec des batteuses classiques du même type que celles utilisées pour les céréales.

La récolte motorisée à la moissonneuse-batteuse équipée d'une barre de coupe à céréales ne pose pas des problèmes particuliers, sous condition d'apporter quelques réglages tenant compte de l'état de la plante arrivée à maturité. La vitesse d'avancement est généralement plus lente que pour les céréales (2 à 3 km/h). Elle est fonction de la hauteur d'insertion des premières gousses sur la tige principale, qui ne doit pas être inférieure à 10 cm. La vitesse du batteur est réduite, et fonction de l'humidité des graines. La ventilation doit être plus énergique.

Pour la récolte des plantes versées, il est utile d'adapter des doigts releveurs devant la barre de coupe. Les plantes sont surtout importantes sur les terrains mal nivelés, et en cas de récolte tardive. Plusieurs constructeurs ont recherché à adapter des dispositifs sur la barre de coupe pour limiter les pertes à la récolte :

- un système de coupe avancé qui sectionne les tiges à la base sans que celles-ci ne subissent de secousses (pour limiter l'égrenage);

- une barre de coupe flexible qui épouse les ondulations du terrain, permettant de récolter plus facilement les gousses basses.

Le choix des variétés adaptées aux conditions pédoclimatiques, résistantes à la verse, avec un premier étage de gousses élevé (à plus de 10 cm), une densité de semis favorable au développement d'un port érigé, et surtout un nivellement correct du sol au moment de la préparation des terres, sont les conditions les plus importantes pour favoriser la récolte mécanisée.

Dans certains pays, (Madagascar) le soja est cultivé ainsi comme plante fourragère : le fourrage est consommé en vert, ou conservé en sec. La coupe peut être réalisée à différents stades, la période optimale, correspondant au stade grain pâteux qui permet un rendement en matière sèche de plus de 5 tonnes/ha. On utilise le matériel classique de récolte des fourrages : faucheuse, andaineuse, presse-ramasseuse.

CONCLUSION

Le soja est une plante annuelle facile à cultiver avec un choix de variétés adaptées aux climats, aux sols et aux conditions de culture très diverses. Les rendements sont élevés sous conditions d'approvisionnement en graines inoculées. La culture pratiquée dans le cadre d'un assolement avec des céréales, en mono-culture ou en double culture, peut être mécanisée totalement sans nécessiter l'application de techniques particulières, ou l'acquisition de matériels spécifiques. Toutefois, les techniques actuelles vont dans le sens de la simplification des opérations culturales, et des matériels ont été adaptés pour le semis direct sur résidus de récolte ou tapis végétal et la récolte motorisée.

En système paysan, cette culture rentre en concurrence avec les autres cultures traditionnelles (maïs, riz pluvial, sorgho, arachide) et ne présente d'attrait pour le producteur que s'il y a un avantage monétaire réel. Le soja, considéré comme culture vivrière, peut être valorisé sur place et autoconsommé, mais l'introduction dans l'alimentation humaine est encore faible en dehors des zones de culture traditionnelles. Enfin, la transformation est possible dans beaucoup de pays disposant d'équipements industriels (huilerie).

CHAPITRE IV : PLANTE SACCHARIFERE

4.1. La canne à sucre (Sacharum sp.)

4.1.6. La situation de la mécanisation et les facteurs d'évolution

Les principaux besoins en mécanisation concernent les activités de récolte et de transport, qui génèrent des coûts de revient élevés. C'est là que se situent les plus grandes possibilités de gain de temps, de réduction des coûts et de la pénibilité du travail. Dans la majorité des situations, la préparation des sols, le sillonnage et à un degré moindre, la protection de la culture (pulvérisateurs à dos) sont souvent mécanisés parce que ces opérations ne sont pas spécifiques à la canne à sucre. Par contre, la plantation, la coupe, le ramassage, le chargement des remorques et le transport de la récolte vers les sucreries sont moins mécanisés et posent les plus gros problèmes. L'île Maurice et l'Afrique du Sud semblent être dans cette phase de transition entre la culture intégralement manuelle et la culture motorisée.

La canne à sucre est uniquement une culture de rente, la stabilisation des surfaces cultivées est donc très liée au prix du sucre. Elle dépend d'autre part des possibilités d'accès aux travaux motorisés. Des crédits et des aménagements importants ont donc été alloués par les Etats pour maintenir une population importante de planteurs vivant de la canne, pour soutenir une production insuffisante pour la consommation locale et pour alimenter les industries agroalimentaires et rentabiliser les sucreries. Face à la tendance d'évolution des systèmes de production de type (complexes sucriers) vers des systèmes mixtes, de grands pays producteurs ont développé des solutions spécifiques basées sur la motorisation. Ces solutions consistent à mettre au point des matériels et des organisations de chantiers, d'une part, associés à diverses formules de regroupement des producteurs d'autre part (associations, régies, groupements au tour de matériels, prestataires de services). Les solutions motorisées se développent au fur et à mesure des mises au point de machines, des possibilités de financement des équipements, et en fonction de la désaffectation de la main-d'œuvre.

4.1.7. Les aménagements pour la motorisation et l'irrigation

L'augmentation de la production de canne à sucre amène souvent des modifications foncières et techniques importantes. La canne est susceptible de valoriser ces modifications quand sa culture est pratiquée ensuite de façon intensive avec la mécanisation. Cependant, pour passer à la motorisation intégrale, il est nécessaire de procéder à l'aménagement et à la préparation des sols qui permettront le travail des machines le plus efficacement possible et sans risque de casse. Un bon nombre de travaux

mécanisés de la culture de la canne à sucre peuvent, sans grand problème, être réalisés avec les matériels conventionnels.

Les pierres constituent un des obstacles les plus importants. Elles conduisent à réaliser des opérations de grande ampleur et éventuellement à créer des matériels spécifiques d'épierrage. L'aménagement des sols pour la première mise en culture comprend les opérations suivantes:

- défrichage et essouchage
- constitution de terrasses ou de billons antiérosifs
- mise en cour de niveau, contre l'érosion,
- correction de la pente du terrain et nivellement en vue d'une irrigation gravitaire;
- arasement de termitières;
- création d'un parcellaire, de pistes et d'ouvrages de franchissement.

On réaménage aussi à l'occasion d'une replantation. De gros travaux sont alors effectués pour accroître les performances des engins motorisés :

- remembrement ;
- élargissement ou renforcement de voies d'accès;
- épierrage fin ;
- remodelage;
- mise en défens des parcelles;
- amélioration du drainage, pose des équipements d'irrigation.

Ces aménagements sont assez classiques dans leur ensemble, sauf l'épierrage, bien qu'il concerne un certain nombre de sites de productions (Colombie, Argentine, Hawaï...).

4.1.8. Les aménagements spéciaux: l'épierrage

D'une façon générale, l'épierrage s'accomplit en deux phases: l'épierrage grossier, effectué à l'aide de tracteurs à chenilles de forte puissance de type Caterpillar D7 ou D8, et l'épierrage fin. A titre d'exemple, voici la description de travaux réalisés à la Réunion en vue d'y développer la plantation et la récolte mécaniques.

A. L'épierrage grossier

L'épierrage grossier, précédé d'un ébranlement du sol au décompacteur Ripper, consiste à ratisser la surface avec un râteau de type Fleco ou Rockland pour enlever les plus gros blocs (1 à 10 tonnes). Ceux-ci sont déposés, en andains, en limite de parcelle et/ou en courbes de niveau,

pour contribuer à la protection des sols contre l'érosion et favoriser la formation progressive de banquettes.

L'épierrage grossier laisse en surface des pierres dont le diamètre est inférieur à 30/40 cm. La mécanisation de la récolte dans ces conditions est encore impossible, à cause des risques de casse des organes de coupe, mais la plantation mécanique peut être réalisée sous réserve de certaines précautions.

Un second décompactage intervient avant un deuxième passage de râteau poussé par un engin plus petit, type D6 Caterpillar. Cette phase de finition de l'épierrage grossier est suivie par la préparation destinée à l'épierrage fin : passage d'un chisel ou d'un pulvérisateur lourd à disques, traîné par un tracteur à roues, a fin de dégager les plus petits blocs et d'ameublir le sol. Cette opération est nécessaire pour obtenir une bonne finition de l'épierrage. En faire l'économie entraînerait des pannes graves sur les épierreuses utilisées pour l'enlèvement des dernières pierres. En outre, cela ne permettrait pas la coupe mécanisée en toute sécurité.

B.L'épierrage fin

L'épierrage fin est une nécessité pour envisager la mécanisation de la récolte et l'amélioration des performances de production. Il est entrepris partout (Mexique, Colombie, Argentine, Australie...) mais sa mise en œuvre accuse globalement du retard à cause du manque de matériel performant. Des possibilités existent cependant.

Les petits planteurs de la Réunion bénéficient de subvention et de l'intervention d'organismes de type « régie de travaux ». A Maurice, c'est une opération effectuée à titre individuel sur les grandes propriétés. Il existe en effet deux solutions motorisées mises en œuvre pour éliminer les pierres résiduelles après l'épierrage grossier, le broyage et le ramassage. Le broyage vise à réduire les pierres en fragments d'une taille compatible avec la mécanisation des opérations culturales. Dans les terres volcaniques, en présence de basaltes très durs, le broyage se révèle très difficile et trop coûteux, à cause de l'usure excessive et du coût de remplacement des marteaux. Il est alors abandonné au profit du ramassage.

Le ramassage s'opère à l'aide de machines dérivées des ramasseuses classiques, à peignes ou à chaînes transporteuses, réétudiées et adaptées aux contraintes locales (dimensionnement, puissance, robustesse...). Ces machines exportent les pierres de diamètre supérieur à 5 cm hors de la parcelle. Elles sont traînées derrière des tracteurs puissants de 120 à 150 ch, à roues, équipés de vitesses « rampantes » pour des avancements limités entre 800 et 1000 m/h. Une transmission hydraulique assure l'entraînement des chaînes, d'enlèvement, ce qui améliore à la fois la souplesse de fonctionnement et la sécurité des organes lors des blocages.

Des ramasseuses basées sur un principe de peignes (Kirpy) ont été testées, mais leur profondeur de travail est faible et il est nécessaire d'andainer les pierres avant leur intervention. Elles sont reconnues pour assurer un meilleur tamisage de la terre mais restent fragiles et sensibles aux grosses pierres.

Les pierres enlevées sont, dans la quasi-totalité des situations, mises en tas, ou mieux, alignées en andains, en mélange avec les blocs sortis lors de l'épierrage grossier. On peut les broyer dans des stations de concassage ou les réutiliser pour l'empierrement des chemins.

4.1.9. Le drainage et l'irrigation

La canne à sucre ne peut survivre dans le milieu asphyxiant d'un sol gorgé d'eau. Le drainage est donc souvent le complément de l'irrigation. Les travaux d'aménagement dépendent de la situation de la nature des sols ainsi que du système d'irrigation envisagé. On a donc recours soit à des aménagements hydro - agricoles plus ou moins sophistiqués - ouvrages de génie civil, barrages (Madagascar, Inde...) -, soit à des aménagements pour l'irrigation - drainage à la raie (Louisiane, Thaïlande...).

En Louisiane, en raison des problèmes liés à la présence d'eau dans les parcelles, la canne est cultivée sur des billons dont l'écartement est conditionné par la voie des récolteuses utilisées.

4.1.10. La mécanisation des opérations culturales

Un grand nombre de travaux peuvent être réalisés sans grands problèmes à partir des matériels conventionnels. La création de matériels spécifiques a cependant été nécessaire pour la plantation.

A. La préparation des sols

La préparation des sols se fait avant la mise en place des boutures pour un nouveau cycle de production (tous les 2 ans à Hawaï, 3 à 4 ans en Australie, jusqu'à 6 à 8 ans et plus en Afrique). Les frais de première préparation des sols, comme ceux de plantation, peuvent être amortis sur toute la durée d'un cycle (de 2 à 8 ou 10 ans). Ils peuvent donc être en théorie relativement élevés s'ils apportent un réel développement de la production et, par la suite, des revenus.

Les travaux de préparation ont pour but de détruire les souches de cannes anciennes et d'effacer les dégradations physiques du sol causés par le cycle précédent : effets de tassement ou de modification de structures dues aux pluies, à l'irrigation et aux passages d'engins. Il faut aussi corriger, dans la mesure du possible, les défauts importants que présenteraient les sols : manque de profondeur, manque d'aération ou de porosité, l'existence de barrières (semelles de labours, discontinuités chimiques ou texturales...).

La canne ne demande une terre finement travaillée que pour le « lit de bouture », afin de favoriser l'enracinement. La préparation type d'un sol comporte l'épandage des amendements, le sous-solage, le labour et la reprise, précédés d'un éventuel brulage de pailles à l'issue de la dernière coupe.

B. L'épandage des amendements

L'épandage se fait à l'aide :

- d'un épandeur à chaux pour les pulvérulents ;
- d'un épandeur à fumier pour les écumes;
- d'un épandeur à lisier, équipé de rampes de pulvérisation ou d'enfouisseurs pour les déchets du type vinasses;
- d'un épandeur centrifuge, oscillant, pneumatique pour les granulés.

Les matériels mis en oeuvre ont les mêmes que ceux utilisés dans d'autres productions agricoles, sans aménagements particuliers. Les vitesses, d'avancement sont de l'ordre de 3,6 à 10 km/h suivant la pente et l'encombrement des terres, soit environ 3 hectares par heure.

C. Le sous-solage

Si nécessaire, le sous-solage est effectué à une profondeur de 45 à 50 cm et un écartement de 80 à 100 cm, avec un sous-soleur à 3 ou 5 dents, selon la puissance disponible.

D. Le labour et la reprise

On regroupe souvent sous le terme de labour un ensemble de techniques telles que; labour, pseudo-labour ou pulvérisage lourd avec des disques crénelés. Le but est de brasser, de mélanger ou d'aérer le sol, plutôt que de le retourner au sens strict. La reprise permet de défaire les mottes trop importantes, d'éliminer les restes de végétation et d'égaliser le terrain. On peut effectuer un pulvérisage moyen aux disques.

E. La plantation

La plantation est le résultat d'opérations successives et complémentaires:

- le sillonnage ;
- la préparation des boutures;
- le traitement des boutures (fongicide);
- la dépose des boutures dans le sillon;
- l'application d'engrais ;
- le recouvrement.

La mécanisation de la plantation peut concerner tout ou partie de ces opérations.

Pendant longtemps, seul le sillonnage était mécanisé à cause de l'ampleur et de la pénibilité du travail (près de 7 000 m/ha pour une plantation à 1,5 m d'écartement. Ce travail, hors des terres franches et à défaut d'aménagement, était et est toujours réalisé avec des moyens lourds.

Il faut de 4 à 8 tonnes de boutures à l'hectare. Un hectare de pépinière permet de replanter 8 à 15 hectares de culture.

4.1.11. La mécanisation partielle de la plantation

A. Le sillonnage mécanisé

Le sillonnage mécanisé est réalisé avec des corps - sillonneurs à l'écoulement voulu, en général 1,50 m, mais celui - ci varie selon les conditions de 0,9 à 1,8 m. il peut être fait en rangs jumelés de 1 m x 2 m comme à Hawaï. Le principe de plantation en rangs jumelés permet de réduire le nombre de tuyaux d'irrigation (1 ligne pour 2 rangs) mais pas de récolter avec les récolteuses, à cause de la largeur de la tête de coupe.

B. Le traitement des boutures

Le traitement des boutures peut être fait par trempage ou par pulvérisation à l'aide d'un appareil à dos, directement dans le sillon.

C. La pose manuelle des boutures

La technique la plus élémentaire consiste à faire passer une remorque au dessus des sillons, à partir de laquelle les cannes entières sont jetées à la main. Une équipe suit pour réaligner, éventuellement tronçonner et recouvrir les cannes de terre. Une autre méthode consiste à distribuer des tronçons de canne à partir d'une remorque munie de trois goulottes avec un serveur pour chacune.

D. L'application d'engrais et le recouvrement

L'application d'engrais et le recouvrement peuvent être effectués en même temps. Un distributeur d'engrais apporte le fertilisant sur le rang et le recouvrement est effectué par deux dents ou deux disques couplés au distributeur.

4.1.12. La mécanisation totale de la plantation

C'est essentiellement le mode de préparation des boutures qui détermine le type de matériel (tableau 45) : soit la machine utile des cannes entières et tronçonne les boutures, soit elle met en place des boutures préalablement tronçonnées. D'autres caractéristiques permettent de différencier le type de matériel :

- le mode d'alimentation du système de tronçonnage (par gravité ou dynamique) ;
- le système de mise en mouvement (pignons et chaîne) entraîné par roue du tracteur ou par les propres roues de la machine. Les planteuses peuvent être portées, semi-portées ou traînées.

Comme dans bien d'autres situations, les temps de travaux dépendent de la bonne organisation des chantiers. Il faut veiller à la régularité de l'alimentation : du chantier en cannes ou en boutures, ainsi qu'à la bonne disposition des points de ravitaillement, en fonction de la capacité des différentes réserves (cannes, boutures, engrais, fongicides) par rapport à la longueur des parcelles.

Tableau 35. Classification des planteuses de canne à sucre.

Type de planteuse	Puissance demandée (ch)	Vitesse de travail (km/h)	Temps de travaux (heures/ha)
Planteuse de Cannes entières Verticales (1 rang)	90 à 100	1 à 2	6 à 8
Planteuse de Cannes entières Horizontales (1 rang)	70 à 80 110 à 120	1,5 à 2 3,5 à 4,5	3 à 4 1 h 30 à 2 h
Planteuse de Cannes tronçonnées (1 rang)	150 et plus	4 à 5	0 h 40 à 0 h 50
Planteuse de Cannes tronçonnées (2 rangs)			

A. Le sillonnage

Le corps sillonneur trace un sillon d'une vingtaine de centimètres de profondeur dans lequel la bouture est déposée. Dans les terrains très pierreux, le corps sillonneur peut être précédé d'un soc robuste sur lequel sont ajoutées des ailes à claire-voie pour écarter les pierres et tamiser la

terre fine. La profondeur du sillon est obtenue par réglage des roues de jauge ou des roues d'entraînement sur les planteuses portées ou semi-portées. Pour les planteuses traînées, le réglage est effectué hydrauliquement.

B. La préparation et le dépôt des boutures

Pour les planteuses de cannes entières (figure 39), les cannes sont stockées dans des trémies, soit horizontalement, soit verticalement (Gmd par exemple). Elles sont reprises et introduites manuellement dans les ameneurs par un ou plusieurs opérateurs, assis sur la planteuse. Elles sont ensuite serrées entre des rouleaux et tronçonnées à la longueur voulue par un couteau dont le mouvement est commandé par l'avancement. Les cannes utilisées peuvent être encore, éventuellement, chargées de feuilles.

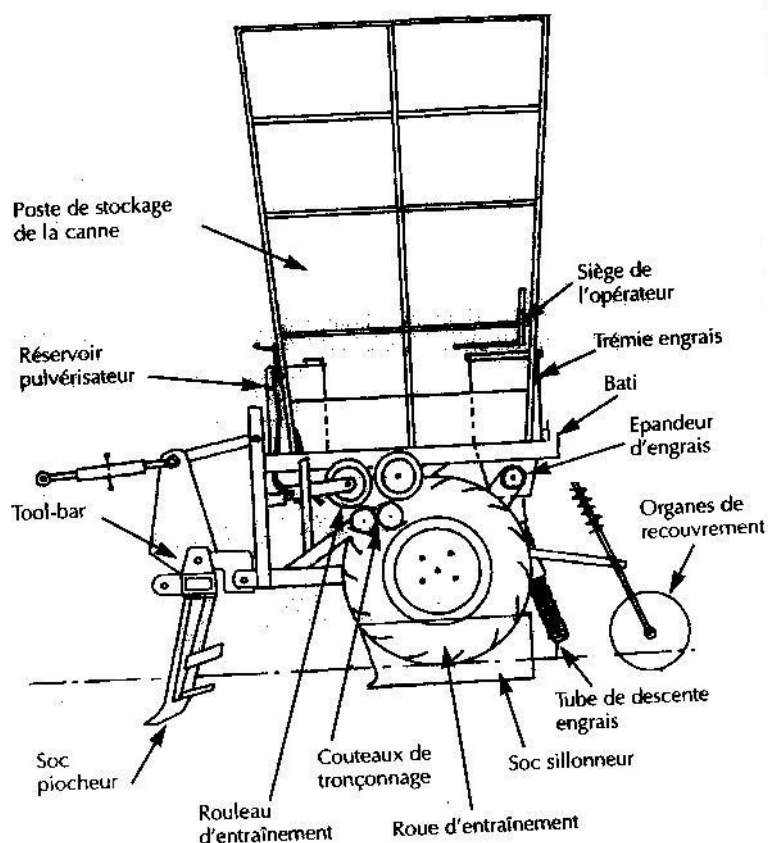


Figure 39. Planteuse de cannes entières (Gmd)

Après le tronçonnage, les cannes sont lâchées dans une goulotte et tombent dans le sillon ouvert par le soc. La densité de distribution est déterminée par une boîte de vitesse. Sur certaines machines, la longueur des boutures est contrôlée par variation de la vitesse de rotation des couteaux par rapport à la vitesse des ameneurs. La régularité de la

distribution est directement dépendante de l'opérateur, assis sur la planteuse qui alimente le système.

Pour les planteuses de cannes pré tronçonnées, la distribution des boutures se fait au départ, à travers un barillet alvéolé en rotation autour d'un axe vertical, et dans lequel on place une à une, à la main, les boutures de 30 cm préparées (Sans). La distribution peut aussi être rudimentaire. Une simple goulotte à la sortie de tapis, surveillée par un ouvrier (planteuse John DEERE). Sur les machines récentes, les boutures tronçonnées sont déposées dans une trémie de grande capacité. Le système d'alimentation est un convoyeur à palettes ou à chaîne auxquels peuvent être adjoints des dispositifs permettant une meilleure alimentation en cannes (tapis, rouleaux).

C. Le traitement des boutures.

Le produit fongicide peut être appliqué au cours de la chute avec des buses (Gmd) ou par trempage dans un bain placé sur la trajectoire des boutures (Massey-Ferguson, Bonel, Pioneer- figure 40). Un épandeur d'engrais est souvent adapté sur la machine et dépose la dose d'engrais préconisée sur les flancs des sillons à l'aide d'un distributeur avis. Ce système permet de combiner les opérations en un seul passage.

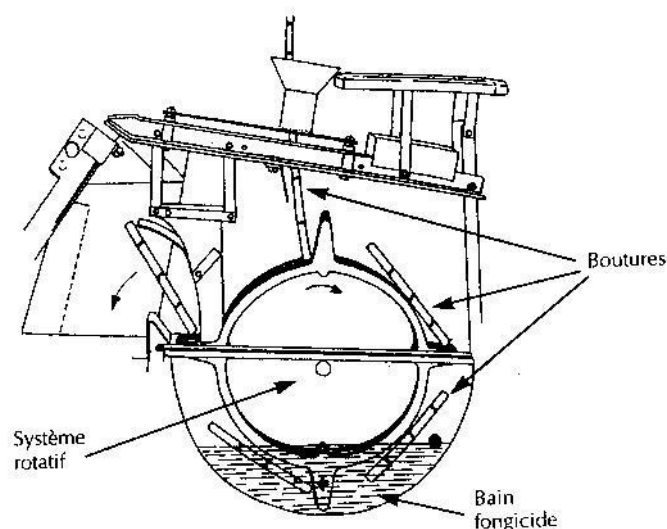


Figure 40, Système de traitement fongicide sur planteuse Massey-Ferguson.

D. Le recouvrement

Le système de recouvrement varie selon le terrain et le degré de la préparation.

Il se compose de deux disques ou de deux dents. Une roue plombeuse peut y être associée pour assurer un meilleur contact entre la terre et la bouture.

4.1.13. L'entretien de la culture

A. La fertilisation

Tant que les cannes sont basses, tous les matériels conventionnels peuvent être utilisés. Les quantités de fertilisants mises en jeu ne justifient pas de systèmes spéciaux. On commence cependant à observer, l'organisation de chantiers mécanisés performants, qui utilisent des épandeurs avec des trémies de grande capacité (3 tonnes). Celles-ci sont remplies à partir de silos mobiles, mis en place au centre des zones à traiter. Ces zones peuvent regrouper les exploitations de plusieurs petits planteurs. Ce type d'organisation est rendu possible grâce à la mise au point de ponts bascules portables et mobiles. Ce matériel permet l'épandage de fractions de trémies chez différents planteurs au cours d'une même intervention et donc la facturation de l'engrais distribué pour chacun.

B. Le désherbage

Désherbage est surtout manuel. Il peut cependant être motorisé en faisant particulièrement attention aux jeunes repousses. Les sarclages mécanisés sont souvent combinés avec d'autres opérations telles que distribution ou incorporation de l'engrais, profilage ou apport d'une petite quantité de terre sur la ligne de canne et aération du sol. On utilise de préférence des disques crénelés (2 interlignes), mais aussi des dents plus ou moins rigides (2 à 4 interlignes) portées à l'arrière de tracteurs légers (3 à 10 ha/jour).

Le désherbage chimique se développe. Le traitement se fait au pulvérisateur à dos, au pulvérisateur porté sur tracteur ou par avion. En cours de végétation, le travail est difficile et il existe peu de matériels spécifiques.

L'emploi le plus courant des herbicides a lieu en pré-émergence sur la ligne, juste après la plantation ou après la coupe. La rémanence de l'herbicide est suffisante pour protéger la culture jusqu'à ce que les feuilles de cannes soient suffisamment développées pour couvrir le sol et empêcher le développement et la croissance des adventices.

C. L'irrigation

La mise en œuvre de l'irrigation demande de prendre en compte des paramètres liés aux sols, au climat et à la variété. Leur connaissance est nécessaire, non seulement pour le dimensionnement du réseau, mais également pour en assurer un pilotage économiquement rentable.

Les besoins en eau ne sont pas constants tout au long du cycle de croissance de la plante mais varient avec l'âge. Relativement faibles à la période du tallage, ils atteignent leur maximum pendant la phase de

grande croissance, puis diminuent pendant la maturation. On préconise de reconstituer la réserve utile des sols aussitôt après la récolte, ce qui assure ainsi une végétation vigoureuse dès le départ. Il ne faut plus irriguer dans les deux à quatre mois qui précèdent la coupe (sevrage hydriques), suivant le degré de sécheresse en vue de favoriser la maturation. Il existe plusieurs méthodes de pilotage de l'irrigation :

- doses et fréquences fixes, qui constituent la base de la technique et qui ne sont pas forcément les plus économiques ni les plus sûres, mais les plus faciles à mettre en oeuvre ;

- doses et fréquences variables; cette méthode nécessite un bilan hydrique complet en partant des besoins de la culture définis par ses coefficients de végétation ; elle est plus complexe à mettre en œuvre mais les plus économe en eau. Ces modes d'irrigation peuvent être employées.
- irrigation de surface ou à la raie : les doses d'arrosage sont fonctions de la nature des sols. En moyenne, 70 à 100 mm ou 1.000m³/ ha par tour d'eau.
- Irrigation par aspersion : les tours d'eau se donnent à un intervalle de 7 à 10 jours pour une pluviométrie horaire de 5 à 15 mm (arroseurs fixes ou mobiles, pivot ou canon enrouleur) ;
- Irrigation goutte à goutte : réseau superficiel ou enterré (en développement à Hawaï).

4.1.15.Récolte

La récolte englobe la coupe , le chargement et le transport. Ce sont des opérations les plus importantes pour lesquelles les couts sont les plus élevés et le temps de travaux les plus longs. L'organisation de la récolte coordonnée à la capacité de l'usine est fondamentale. De plus, le délai entre la coupe et le broyage de la canne ne doivent pas dépasser 24 heures, si la canne est brûlée et 48 heures, si elle est coupée en vert, sous peine de perte de sucre. De nos jours, trois modes de récoltes sont pratiqués :

- En cannes entières, manuelles ou Motorisées
- En cannes tronçonnées, manuelles ou Motorisée
- Entièrement motorisé : système hawaïen.

A. Récolte en cannes entières

La Récolte en cannes entières est facilitée par le brulage de la récolte sur pied ou par le dépaillage manuel ou mécanisé (des travaux mettant en œuvre des ventilateurs ont été effectués en Australie sur ce thème).

Le brulage permet aussi d'éliminer des champs tous les animaux indésirables (guêpes fourmis et serpents...), il ne peut se faire sans discernement car, s'il facilite le travail en supprimant les feuilles et en dégageant les tiges, il désorganise la récolte lorsque les feux sont mal maîtrisés, accentuant les risques de propagation des incendies. De plus, il précipite l'inversion du saccharose. Il devient dès lors urgent de livrer les cannes à l'usine, avant une dégradation trop importante de jus.

L'intérêt de la coupe en cannes entières, est de permettre, quantitativement et techniquement, une évolution progressive de la coupe naturelle vers la coupe mécanique, sans avoir à changer ce qui existe en matière de chargement, de transport et de réception à l'usine. Il est ainsi possible de faire face au problème de manque de main-d'œuvre pour la coupe sans bouleversement majeur.

S'il est vrai que dans tous les cas, il est important d'organiser la coupe, les coupeuses des cannes entières présentent quand même l'avantage de scinder les opérations et de ne pas être totalement dépendant du transport comme dans le cas des coupeuses tronçonneuses.

A.1. Coupe semi-mécanisée

Manuellement, la coupe réalise trois opérations fondamentales :

- la coupe de la canne à la base,
- l'écimage, éventuellement, le paillage et
- la mise en andains ou en tas.

La coupe semi-mécanisée comprend dans tous les cas la mécanisation de la coupe proprement dite et celle de l'une ou l'autre des opérations citées. Elle nécessite de ce fait, une reprise effectuée soit manuellement, soit avec une autre machine.

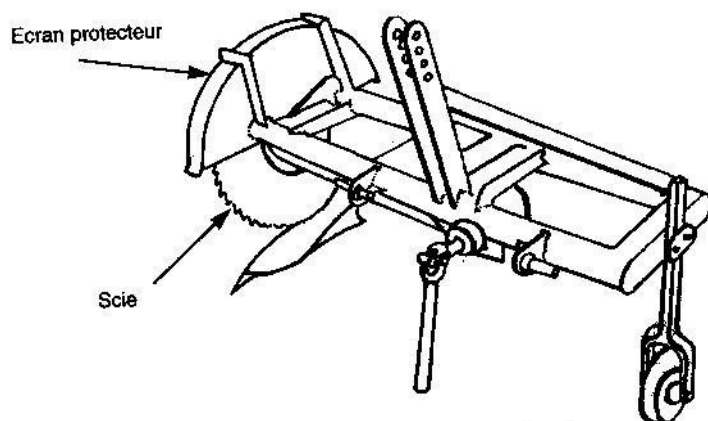


Figure 41 : Ecimeuse portée trois points (dessin CEEMAT d'après Holdge)

A. 2. Quelques modèles de coupeuses

Des études ont été réalisées en Asie (Japon, Thaïlande) pour des machines de très petite taille. D'autres études réalisées par la S.A.S.A (South African Suga Association Experiment Unit Station), aux Barbades et en Australie ont débouché sur la conception des machines d'aide à la récolte plus performantes. Ecimées ou non les cannes sont couchées sous le tracteur dans le sens du rang. Il reste à les écimer, à les andeiner ou à les mettre en tas, manuellement. C'est le cas de la Coupeuse Canequip « Mantis » (Figure 42)

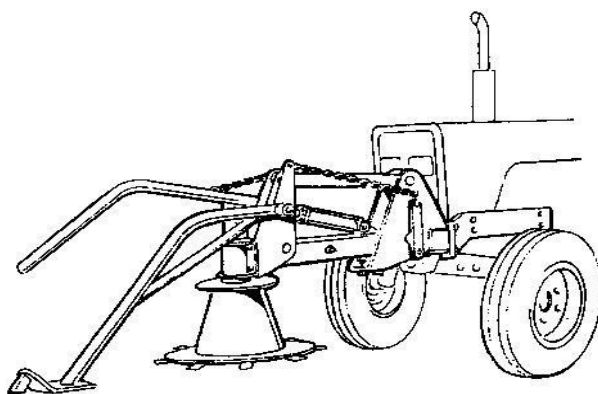


Figure 42 : Coupeuse Canequip « Mantis » (d'après Howard).

A.3. Récolteuses automotrices de canne entières

Les coupeuses andaineuses

Les coupeuses andaineuses sont les coupeuses de type « Cameco » (Broussard, Thomson...) d'une puissance de 150 ch, originaires de Louisiane, elles existent en un ou deux rangs. Les principaux éléments de la machine sont , dans l'ordre d'entrée en fonction :

- un séparateur
- deux releveurs
- un écumeur
- un disque de coupe
- un convoyeur orientable (bras mobile pour l'andainage).

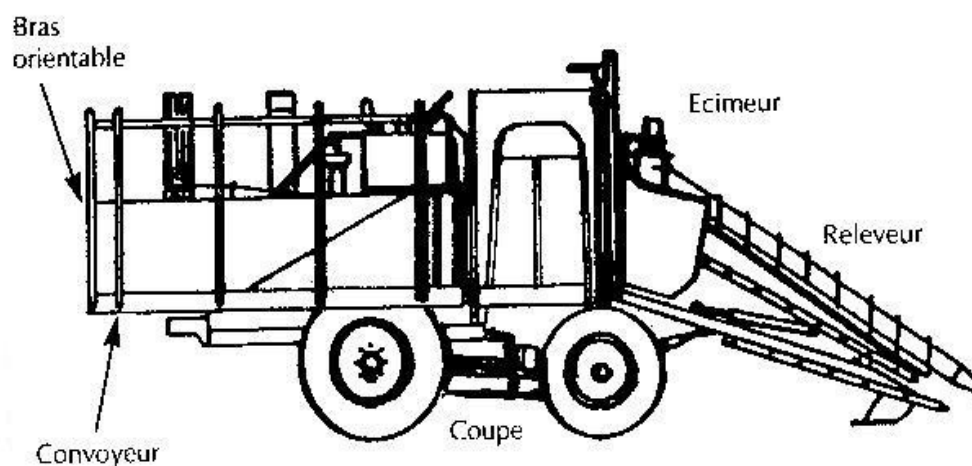


Figure 43 : Coupeuse-andaineuse Cameco 1 rang.

Les coupeuses - empileuses

Les coupeuses - empileuses du type austoft « Tiger » (Artioli « EG 500 MD 103 Super », Carib « Centirion », Legras «Rcl 4.000 »...), d'une puissance supérieure à 200 ch. Elle travaille sur un seul rang.

Les principaux éléments de la machine sont :

- deux releveurs/séparateurs
- un écumeur
- deux disques de coupe
- un convoyeur à rouleau ou à tapis
- une trémie de stockage
- un système de ventilation (Legras, Carib)

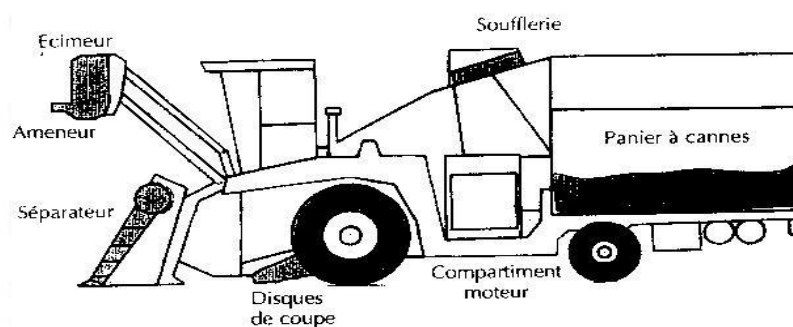


Figure 44 : Coupeuse Legras (Rcl 2000)

A.4. Chargement des cannes entières

Chargeurs discontinus

On distingue plusieurs types des chargeurs discontinus parmi lesquels le Chargeur frontal sur tracteur, le Chargeur frontal automoteur, le Chargeur à tourelle et les Remorques auto chargeuses

Le Chargeur frontal sur tracteur est un chargeur monté sur un tracteur agricole par l'intermédiaire d'un bâti d'adaptation spécifique à chaque type de tracteur. Il est constitué de :

- un cadre d'attelage, partie fixe reliée au bâti d'adaptation
- un bras ou brancard, mu par le vérin de levage
- un circuit hydraulique
- un grappin à cannes (mais aussi d'autres outils, ce qui le rend polyvalent)

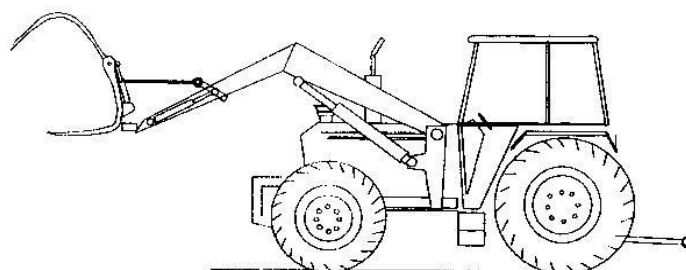


Figure 45 : Chargeur frontal automoteur

A.6. Transport et réception des cannes entières

Le type de transport est conditionné par la distance à l'usine. Ainsi de plus en plus, le transport évolue vers un système mixte :

- par tracteurs et remorques agricoles pour les distances inférieures à 10 kilomètres
- avec des remorques ou semi-remorques routières de grande capacité (72 m³)pour les distances plus longues, et la livraison aux usines à partir des plates - formes intermédiaires de regroupement.

A.7. Récolte en cannes tronçonnées

Récolteuses- tronçonneuses- chargeuses

Les Récolteuses- tronçonneuses- chargeuses assurent l'ensemble des opérations y compris le chargement. La canne est coupée à la base puis tronçonnée en morceaux de 20 à 40 cm et enfin chargée directement dans une remorque qui accompagne la coupeuse. Ces Récolteuses- tronçonneuses- chargeuses sont des machines de forte puissance montées soit sur pneumatiques, soit sur des trains des chenilles en fonction du terrain. C'est le moment où se fait le tronçonnage qui les différencient : immédiatement après la coupe (tronçonnage bas) ou en fin de parcours dans la machine (tronçonnage haut). Les principaux organes de la machine sont décrits dans la figure 46 dans l'ordre de déplacement de la canne.

- | | | | |
|---|---------------------------|----|-----------------------|
| 1 | Ecimeur | 7 | Convoyeur latéral |
| 2 | Diviseur rotatif | | Vidange vers remorque |
| 3 | Disque de coupe principal | 8 | Extracteur de paille |
| 4 | Couteaux latéraux | 9 | Ventilateur principal |
| 5 | Tronçonneurs | 10 | Sortie paille |
| 6 | Convoyeur à palettes | | |

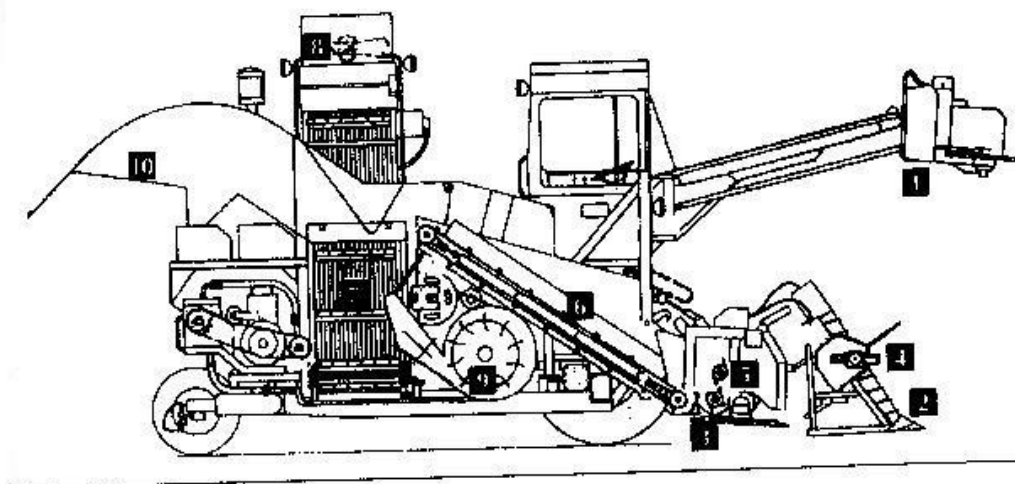


Figure 46 : Coupeuse-tronçonneuse (Claas-Libertadora CC 1400)