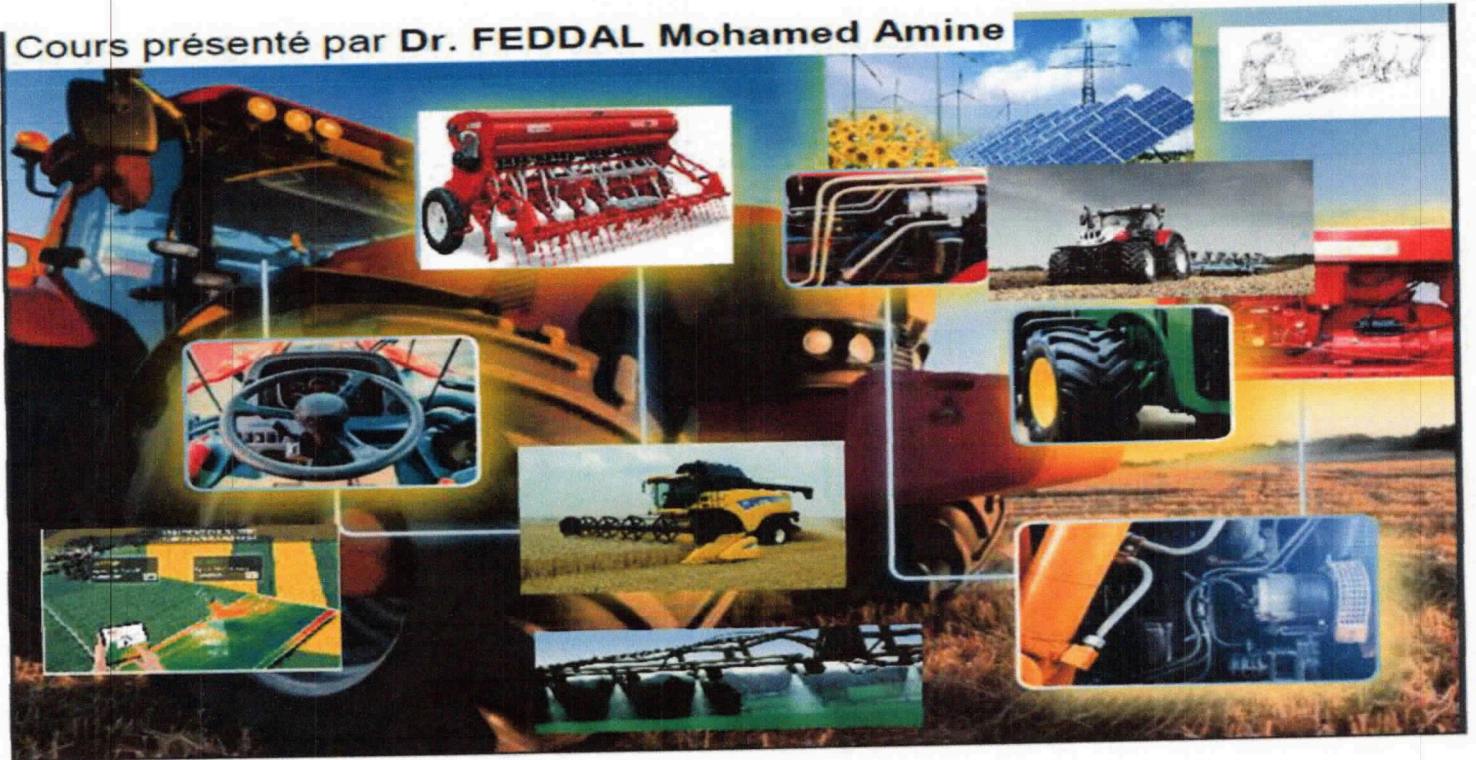


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية
-الحراش-
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
El Harrach – Alger



Polycopié de cours d'AGROEQUIPEMENT

Cours présenté par Dr. FEDDAL Mohamed Amine



Polycopié destiné aux étudiants de première année second cycle (Ex 3ème année)



Avant propos

De nos jours encore, la majorité des aliments destinés tant à la consommation humaine qu'animale a pour origine la production agricole. Celle-ci dépend, bien sûr, des agriculteurs, mais aussi des moyens dont ils disposent : génétiques, chimiques ou mécaniques, en particulier des machines agricoles. Ces machines agricoles se trouvent aussi bien dans les champs que dans les bâtiments d'exploitation. Elles ont un point commun : il leur faut de l'énergie pour les entraîner et, quelle que soit l'origine de cette dernière (fossile ou non), elle fait toujours appel à un transformateur : le moteur. En effet, dans nos pays modernes du moins, l'effort humain et la traction animale ne sont pratiquement plus utilisés, malgré certains avantages procurés par les animaux, l'autonomie qu'ils assuraient à l'exploitation, en premier lieu. Mais cette mécanisation motorisée que nous rencontrons en traversant les campagnes, et qui nous apparaît aujourd'hui comme naturelle, familière, relève d'un phénomène, somme toute très récent.

La maîtrise et l'entretien des machines agricoles impliquent des savoirs particulièrement diversifiés. En effet, outre la mécanique et les transmissions, ces outils incorporent massivement des composants hydrauliques et électroniques. Ce polycopié d'Agroéquipement, qui est destiné aux étudiants de première année second cycle (Ex 3ème année) de l'école nationale supérieure agronomique, réunit toutes les connaissances techniques de base nécessaires à la compréhension du fonctionnement des machines agricoles.

La première partie apporte les notions théoriques et technologiques de façon pratique et théorique sur tous les éléments constitutifs d'un tracteur depuis le moteur jusqu'à la climatisation en passant par les lubrifiants et les pneumatiques...

La deuxième partie présente les outils agricoles les plus utilisés pour la mise en place, l'entretien et la récolte des cultures tels que les charrues, les semoirs, les pulvérisateurs ou les moissonneuses-batteuses.

Ce polycopié résulte de la lecture de nombreux ouvrages et documents dont la plupart ne sont pas cités dans la bibliographie. En particulier, je me suis largement inspiré des ouvrages édités par CEMAGREF France, ainsi que des nombreux documents accessibles en ligne.

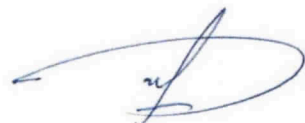
La réalisation de ce polycopié n'aurait pas été possible sans l'aide que m'a apporté un grand nombre de personnes tant pour les aspects scientifiques que pour le plan personnel.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements au Professeur AMARA Mahfoud, enseignant chercheur à la retraite, ainsi que Monsieur BAKEL Mohamed, pour leur contribution dans la réalisation de ce polycopié, en me fournissant de nombreuses références inédites.

Que tous ceux qui ont collaboré à la préparation de ce polycopié soient félicités pour l'aide indispensable qu'ils apportent à la formation en général.

En fin, je voudrais dédier ce polycopié à la mémoire de notre cher collègue et enseignant KHEYAR Mohand Ouali, qui nous a récemment quitté. Puisse Dieu le Tout Puissant et Miséricordieux lui accorde Sa Sainte Miséricorde et l'accueillir en Son Vaste Paradis.

FEDDAL Mohamed Amine





Sommaire

Chapitre 01 : Introduction et historique du machinisme agricole

1. INTRODUCTION A L'AGROEQUIPEMENT.....9

1.1 Définition.....9

1.2 Utilité.....9

1.3 Historique de l'évolution du matériel agricole10

Chapitre 02 : Le tracteur agricole

1 Introduction et définition13

2 Eléments constitutifs.....14

2.1 Le Moteur : source d'énergie.....16

2.1.1 Constitution du moteur16

2.1.2 Caractéristiques du moteur24

2.1.3 Comparaison moteur diesel et moteur à essence28

2.1.4 Notion de couple, vitesse et puissance.....28

2.1.5 Eléments de transmission30

2.2 Traction et animation des outils.....34

2.2.1 L'effort de traction.....34

2.2.2 Bilan d'utilisation de la puissance par le tracteur34

2.2.3 La résistance au roulement34

2.2.4 Le glissement et l'adhérence34

2.2.5 Le glissement.....35

2.2.6 L'adhérence35

2.2.7 Les différents modes d'attelage des outils agricoles37

2.2.8 Classification de l'attelage des outils agricoles.....39

2.2.9 Le relevage hydraulique39

2.2.10 La prise de force42

2.2.11 Le report de charge44

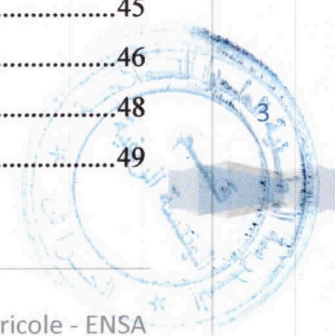
2.3 Les pneumatiques agricoles.....45

2.3.1 Généralités45

2.3.2 Caractéristiques et dimensions du pneu agricole.....46

3 Les tracteurs spécialisés.....48

4 Des informations concernant les tracteurs49



Chapitre 03 : Les outils de travail du sol

1	Rôle et objectifs du travail du sol	50
2	Présentation des techniques culturales pour la mise en place des céréales.....	52
2.1	Techniques de travail du sol profond.....	55
2.2	Les techniques culturales superficielles.....	56
3	Place et importance des techniques culturales dans l’itinéraire technique	57
4	Aperçu historique et état actuel des techniques culturales simplifiées	57
5	Le labour.....	59
5.1	Le principe du labour:.....	59
5.2	Les organes constitutifs de la charrue à soc.....	61
5.3	Les différents types de charrue à soc	63
5.3.1	Classification selon le type de labour	63
5.3.2	Les angles caractéristiques des charrues à socs	65
5.3.3	Réglages de la charrue à soc	65
5.3.4	Le dispositif de sécurité des charrues à socs.....	67
5.4	La charrue à disque.....	68
5.4.1	Les réglages	69
5.4.2	Les angles caractéristiques	72
6	Les outils à dents	74
6.1	Le cultivateur.....	74
6.1.1	Fonctionnement:	74
6.1.2	Les différents types de cultivateur.....	75
6.1.3	Les réglages des outils à dents.....	82
7	La herse classique.....	82
8	Le ROTAVATOR ou houe rotative	84
8.1	Utilisation	84
8.2	Réglages.....	84
9	Le pulvérisateur ou cover crop	85
9.1	Utilisation	85
9.2	Fonctionnement	85
9.3	Les différents types de cover crop.....	86
9.3.1	Les pulvérisateurs "offset" ou "cover-crop"	86
9.3.2	Les pulvérisateurs tandem	86
9.3.3	Les réglages du cover crop	87

10	Les rouleaux	88
10.1	Les rouleaux lisses.....	89
10.2	Les rouleaux squelettes.....	89
10.3	Les rouleaux croskill	90
10.4	Les rouleaux étoiles (herse norvégienne)	90
11	Le sous solage.....	91
11.1	La sous soleuse	91
12	Le décompactage	92
12.1	Le décompacteur.....	93

Chapitre 04 : Le matériel de semis

1	Introduction	94
2	Le processus de germination et de levée des plantes.....	94
3	La semence	95
4	Le lit de semence	95
5	Les caractéristiques des semis	97
5.1	La profondeur de semis	97
5.2	La dose de semis.....	97
6	Le semoir en ligne	98
6.1	Utilisation	98
6.2	Description des éléments constitutifs	98
6.2.1	La trémie.....	99
6.2.2	Organes de distribution.....	99
6.2.3	Tubes de descente.....	100
6.2.4	organes d'enterrage et de recouvrement.....	100
6.2.5	Equipements accessoires	100
6.3	Réglage du semoir en ligne.....	101
6.3.1	L'aplomb du semoir	101
6.3.2	La profondeur	101
6.3.3	L'écartement des lignes de semis.....	102
6.3.4	Réglage des accessoires.....	102
6.3.5	Réglage des traceurs	103
6.3.6	Réglage de la dose de semis/ha	104
6.4	Réglage électronique du semoir.....	107
7	Le semoir de précision ou monograines	107

7.1	Utilisation	107
7.2	Fonctionnement	107
7.3	La distribution.....	108
7.4	Les réglages du semoir monograine	109
8	Le semoir de semis direct	110

Chapitre 05 : Le matériel de traitement et fertilisation

1	La pulvérisation	120
1.1	Introduction	120
1.2	Fonction du pulvérisateur	120
1.3	Constitution du pulvérisateur à jet projeté et principes de fonctionnement.....	122
1.3.1	La cuve	123
1.3.2	Système de distribution.....	124
1.3.3	Système de transfert du liquide.....	124
1.3.4	Système de division du liquide en gouttelettes.....	126
1.3.5	Le contrôle de la pression, le manomètre.	129
1.3.6	L'ensemble de distribution, le distributeur	129
1.3.7	Amortisseurs ou cloche à air.....	130
1.3.8	Le régulateur ou limiteur de pression	131
1.4	Les différents types de pulvérisateurs.....	131
1.4.1	Les pulvérisateurs à jet projeté	131
1.4.2	Les pulvérisateurs à jet porté	131
1.4.3	Les pulvérisateurs pneumatiques.....	133
1.5	Les réglages du pulvérisateur	133
2	L'épandage d'engrais solide	135
2.1	Distributeur ou épandeur d'engrais solide.....	136
2.1.1	Fonction.....	136
2.1.2	Les éléments constitutifs.....	136
2.1.3	Les réglages de l'épandeur d'engrais solide	140

Chapitre 06 : Le Matériel de récolte

1	Introduction	144
2	Ensileuse.....	144
3	La faucheuse.....	144
4	La faneuse.....	145

5	L'andaineur	146
6	La ramasseuse presse.....	146
7	Enrubanneuse.....	146
8	L'arracheuse de pomme de terre.....	147
9	La récolte des céréales	147
9.1	.L'élaboration du rendement	147
9.2	Etude de la Moissonneuse-batteuse	150
9.2.1	Les organes de coupe et d'alimentation	152
9.2.2	Les organes de battage.....	162
9.2.3	Les organes de séparation.....	166
9.2.4	Les organes de nettoyage.....	167
□	Le débit.....	168
□	l'orientation du flux d'air.....	169
9.2.5	Les organes de récupération du grain	169
9.3	Les équipements complémentaires d'une moissonneuse batteuse.....	171
9.4	LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES.....	172
9.4.1	Le battage flux à axial ("axial flow") :.....	172
9.4.2	Les séparateurs rotatifs	172
9.4.3	Les secoueurs rotatifs	172

Chapitre 07 : L'agriculture de précision

1	Démarche.....	174
1.1	Principe général	174
1.2	Les enjeux.....	174
1.3	Historique	174
1.4	Les étapes de la démarche	175
2	Les outils spécifiques.....	175
2.1	Outils de caractérisation des hétérogénéités spatiales du sol.....	175
2.2	Outils de caractérisation des hétérogénéités spatiales du couvert végétal en cours de culture 176	
3	Interprétation	177
3.1	La modulation directe.....	177
3.1.1	Les limites.....	178
3.2	La modulation indirecte.....	178
3.3	Apport des modèles de culture	178

4	La mise en œuvre.....	179
4.1	Équipement du matériel et faisabilité.	179
4.2	Évaluation de la rentabilité des itinéraires techniques modulés.	180
5	Réflexion sur l'introduction de la Robotique pour la lutte contre les ennemis des culture en Algérie.....	180
5.1	Exemple de travaux réalisés par des chercheurs dans des pays méditerranéens	181
5.1.1	Le guidage par GPS.....	182
5.1.2	La pulvérisation localisée : utilisation d'une caméra.....	184



Chapitre 01 : Introduction et historique du machinisme agricole

1. INTRODUCTION A L'AGROEQUIPEMENT

1.1 Définition

Agroéquipements: bâtiments et matériels utilisés pour la production agricole et, éventuellement, la transformation de produits agricoles

Machinisme agricole : Le machinisme agricole réside dans l'application de la mécanisation aux opérations de productions dans l'agriculture. Il se présente sous formes de matériels divers destinées aux exploitations agricoles, dans le but d'y faciliter le travail de la main-d'œuvre.

L'agroéquipement génère en moyenne plus de 50 % des charges de structure d'une exploitation agricole. Ce poste est essentiel pour l'avenir économique et la modernisation de l'agriculture, avec, en toile de fond, la nécessaire recherche d'une plus grande compétitivité. A la contrainte économique, vient également s'ajouter une contrainte environnementale, toutes deux pouvant être liées lorsqu'il s'agit de réaliser des économies sur l'usage des intrants, en adoptant des techniques et pratiques favorisant l'agriculture de précision. A cela vient également s'ajouter une dimension « sociale », dont l'objectif est d'atténuer la pénibilité de travail des exploitants agricoles.

Dans le monde, la filière de l'agroéquipement, qui regroupe les métiers liés au machinisme agricole, représente beaucoup d'emplois répartis aussi bien dans des petites et moyennes entreprises que dans des grands groupes industriels.

Si les tracteurs – toujours plus perfectionnés –, les matériels de récolte pour les grandes cultures et les équipements pour espaces verts dominent le marché, ce secteur en pleine mutation est aussi porté par les progrès de la robotique agricole. On le sait peu, mais l'agriculture est le deuxième marché mondial de la robotique de service professionnelle. Le boum de l'agriculture numérique, dite « de précision », est également en train de bouleverser la filière avec le développement des technologies autour des capteurs connectés, de l'automatisation et de la gestion de l'information (le « big data »). Toutes ces avancées – de plus en plus embarquées sur les engins agricoles – créent évidemment des besoins neufs en matière de compétences...

1.2 Utilité

L'objectif final du machinisme agricole est de réduire la dépense d'énergie humaine nécessaire pour obtenir un travail déterminé, quantitativement défini, c'est-à-dire améliorer la productivité du travail. Il existe finalement quatre possibilités pour l'homme





de tirer profit d'une amélioration de la productivité de son travail, ou ce qui au même, de la mise en œuvre de mécanisme susceptible d'économiser de l'énergie.

- **SE FATIGUER MOINS**
 - En réduisant la durée des efforts.
 - En réduisant l'intensité des efforts.
- **PRODUIRE PLUS**
 - En profitant de moindres besoins de puissance humaine.
 - En profitant d'un gain de temps.

1.3 Historique de l'évolution du matériel agricole

- ❑ Le 1er outil connu du travail du sol est la **HOUE**. Cet outil sera utilisé dès le Vème millénaire avant notre ère. La **HOUE** fait appel exclusivement à l'énergie humaine.

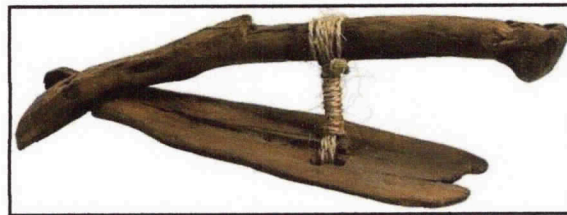


Figure 1.1 : La houe

- ❑ Au Moyen-Age apparaissent les premiers systèmes à *culture attelée* qui reposent sur l'association de l'agriculture et de l'élevage. La charrue sera tirée par un animal.

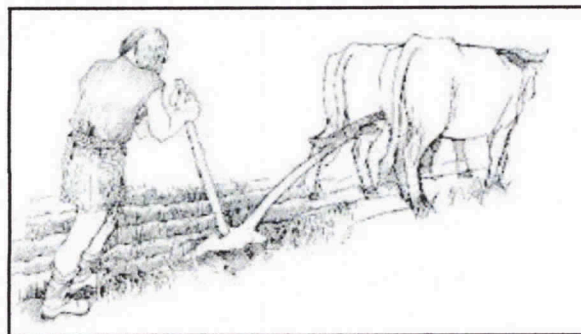


Figure 1.2 : système de culture attelée

- ❑ Au milieu du 19ème siècle, une nouvelle forme d'énergie est utilisée en agriculture : **LA VAPEUR**. Les machines à vapeur seront utilisées pour tracter le matériel.



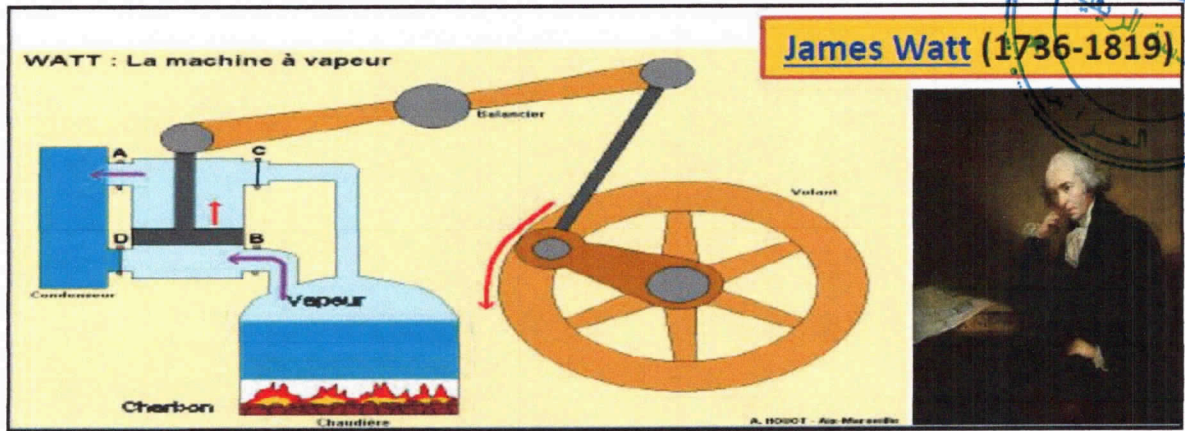


Figure 1.3 : La machine à vapeur

- ❑ En 1892 grâce à l'invention du moteur diesel, l'évolution des tracteurs s'améliore.

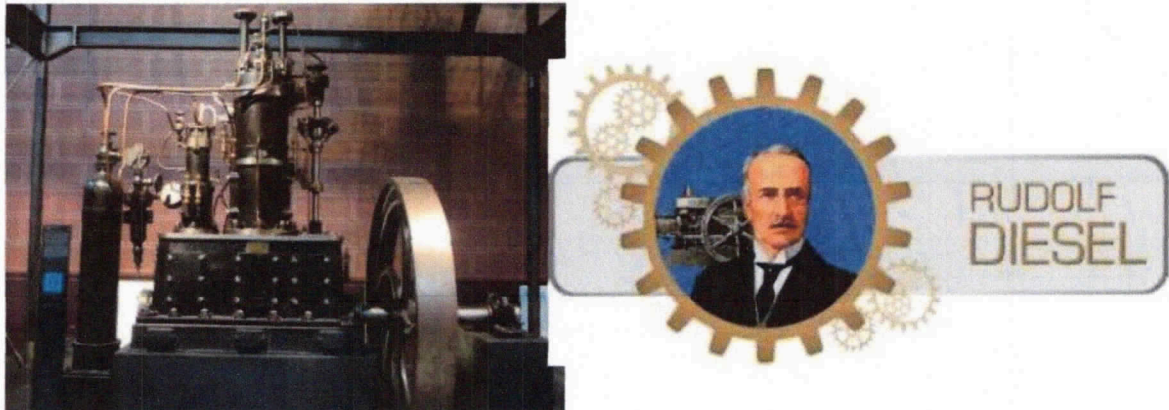


Figure 1.4 : Le moteur Diesel de 1992

- ❑ Entre 1915-1919 : la prise de force est introduite



Figure 1.5 : La prise de force du tracteur



- ❑ De 1930 à 1970, le moteur Diesel équipe de plus en plus de gros tracteurs, les pneumatiques remplacent les roues métalliques à crampons, le relevage hydraulique, etc. sont introduits.

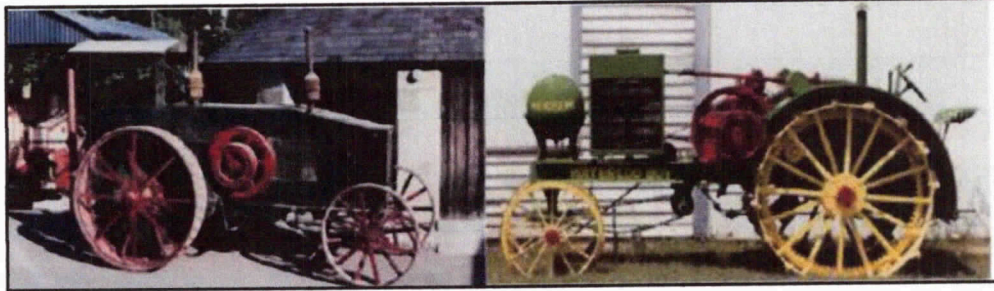


Figure 1.6 : Tracteur Renault 1925

- ❑ On peut dire qu'après la 2ème guerre mondiale, la motorisation associée à la grande mécanisation se déploie. L'évolution des tracteurs s'accompagne de celle des machines qui combinent l'utilisation de plusieurs fonctions, comme les moissonneuses batteuses, les récolteuses – décolleteuses de betteraves.
- ❑ Au cours des 20 dernières années sont apparus les concepts « d'agriculture de précision » et des « systèmes de positionnement de type GPS (Global Positioning System) qui permettent d'offrir une visualisation très claire de la variabilité d'un champ.

Agriculture de précision

-30% intrants (engrais, pesticides)
 = -30% de pollution, meilleur qualité sanitaire
 +30% de marge pour le producteur



Votre signal GPS et votre information vitesse depuis votre barre de guidage





Chapitre 02 : Le tracteur agricole

1 Introduction et définition

La littérature économique considère souvent de manière abusive que le symbole de la mécanisation agricole est le tracteur, en précisant de surcroît sa puissance-chevaux, parce que plus elle est élevée, mieux cela vaut. Le tracteur est devenu le symbole du développement agricole et il sert d'étalon de comparaison entre pays dans les annuaires statistiques des Nations-Unies. Plus le rapport hectares/tracteur est faible et plus une agriculture serait « développée ».

Le tracteur est essentiellement un engin de tractage. En tant que tel, ses avantages par rapport à une paire de bœufs sont sa vitesse et sa puissance. Ce n'est pas sans intérêt mais ce n'est pas non plus un gage de croissance des rendements agricoles.

Le tracteur agricole a plus d'un siècle et n'a jamais cessé d'évoluer. D'abord utilisé pour remplacer les animaux de trait, il a ensuite permis la réalisation de plusieurs tâches en simultanées pour devenir un formidable outil de travail plaçant le chauffeur dans un environnement convivial et ergonomique.

Voici quelques dates clés dans l'histoire du tracteur

- 1769 > Invention du moteur à vapeur par James Watt
- 1856 > Le terme « tracteur » est utilisé pour la première fois en Angleterre
- 1876 > Invention du moteur à combustion interne
- 1881 > Invention du premier tracteur à vapeur et à chenille par le Russe, Fiodor Blinov
- 1892 > Premier tracteur avec moteur à explosion, construit de manière industrielle
- 1909 > Invention du premier tracteur à roues, suivit en 1914 par le premier tracteur à chenilles, par Henry Baughet
- 1911 > Première démonstration de tracteurs aux États-Unis
- 1912 > Invention du tracteur à quatre roues motrices
- 1913 > JI Case crée le tracteur 12-25 HP avec 600 tours/minutes
- 1917 > Ford invente le premier tracteur à bâti unitaire en fonte
- 1924 > Farmall invente le premier tracteur à usages multiples





- 1935 > Le premier moteur diesel est introduit sur un tracteur sur roue par Massey Harris tandis que Case introduit le relevage mécanique des instruments
- 1936 > Massey Harris présente le premier tracteur quatre roues sur pneumatique
- 1950's > Essor du tracteur
- 1980 > Apparition de l'électronique embarqué

Depuis 1950, les tracteurs sont de plus en plus perfectionnés, autant en termes de puissance, de sécurité, de qualité ou encore de design.

Un tracteur agricole c'est avant tout un outil de travail indispensable représentant un investissement très lourd. C'est pourquoi, il doit être choisi, utilisé et entretenu de manière rigoureuse sous peine de pénaliser l'exploitation par des charges opérationnelles exorbitantes.

Les tracteurs conventionnels ont la faculté de **porter, tirer, pousser ou entraîner divers outils**, ce qui leur confère une grande **polyvalence**. La puissance des tracteurs disponibles sur le marché s'échelonne de **33 à 500 Ch.** suivant les constructeurs.

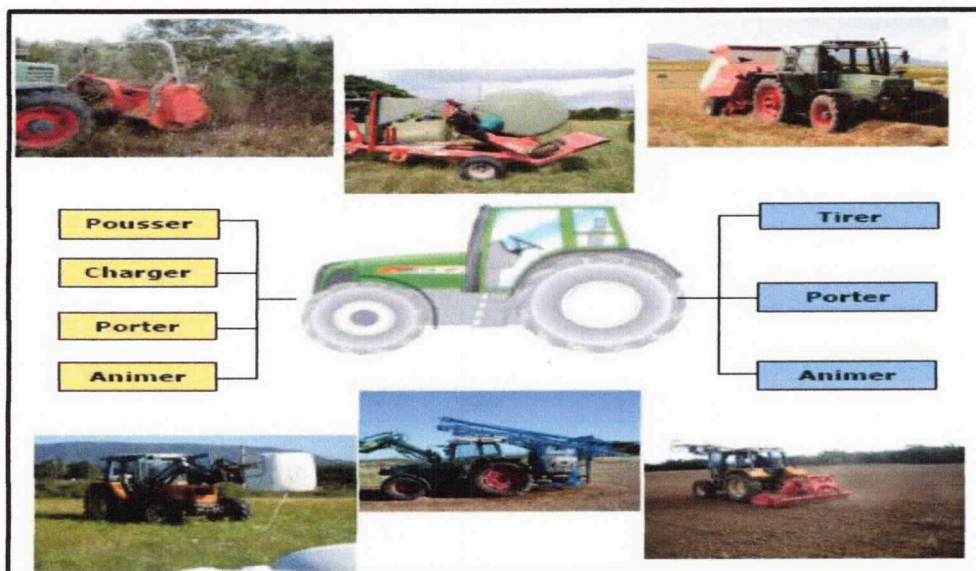


Figure 2.1 : Les fonctions d'un tracteur agricole

2 Eléments constitutifs

Le tracteur est un véhicule automoteur pouvant être équipé soit de pneu, soit de chenilles. Polyvalents, les tracteurs agricoles, disposent de trois fonctions principales :

- Ils peuvent tracter, tirer des machines agricoles ou encore des remorques pour le transport.





- Ils servent également de support pour les machines, outils et accessoires agricoles, que l'on peut retrouver à l'avant ou à l'arrière du tracteur.
- Dernière fonction, l'animation de machines agricoles qui contiennent des vérins ou des pièces rotatives.

De manière générale, le tracteur dispose de quatre roues, deux roues motrices, situées à l'arrière du véhicule et deux roues directrices situées à l'avant. Il est également possible que le tracteur dispose de quatre roues motrices au lieu de deux. Autre élément important du tracteur agricole, son poste de conduite. Selon le type de tracteur, le poste de conduite est soit constitué d'une cabine tracteur, soit il reste ouvert.

Au niveau du fonctionnement mécanique, le tracteur n'est pas si différent de la voiture. On retrouve toujours ce système à trois pédales : l'embrayage, le frein et l'accélérateur. Parfois, il y a une quatrième pédale, correspondant à un deuxième frein. Chaque frein commande un côté du tracteur. On retrouve également un levier, relié à l'accélérateur. Ce levier, qui s'actionne manuellement, sert à bloquer le moteur du tracteur à un régime constant.

Le tracteur est donc une machine où la transmission est manuelle. Il dispose de plusieurs vitesses et de démultiplicateurs, lui permettant de rouler à des allures assez lentes.

Cependant, depuis quelques années, les transmissions manuelles sont remplacées par des transmissions automatiques ou des transmission à variation continue.

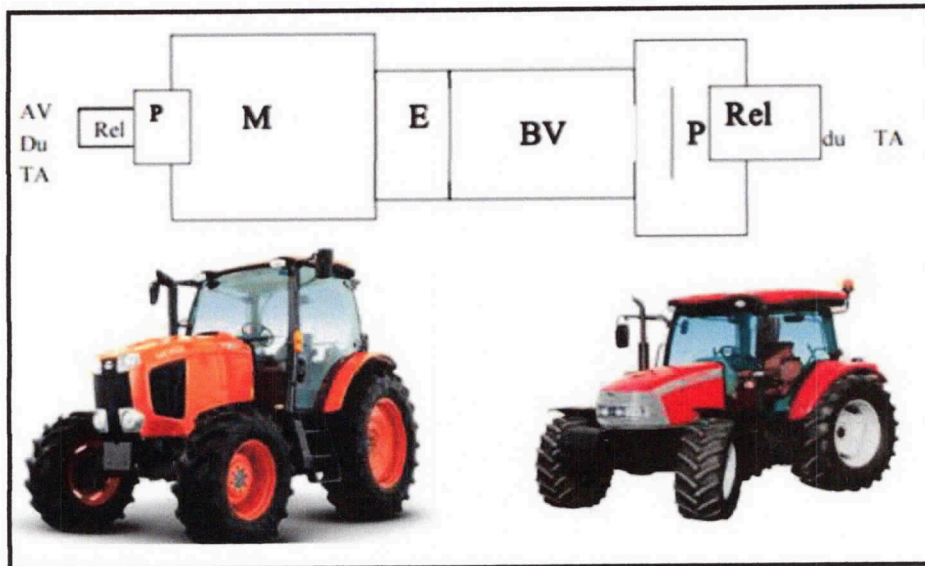


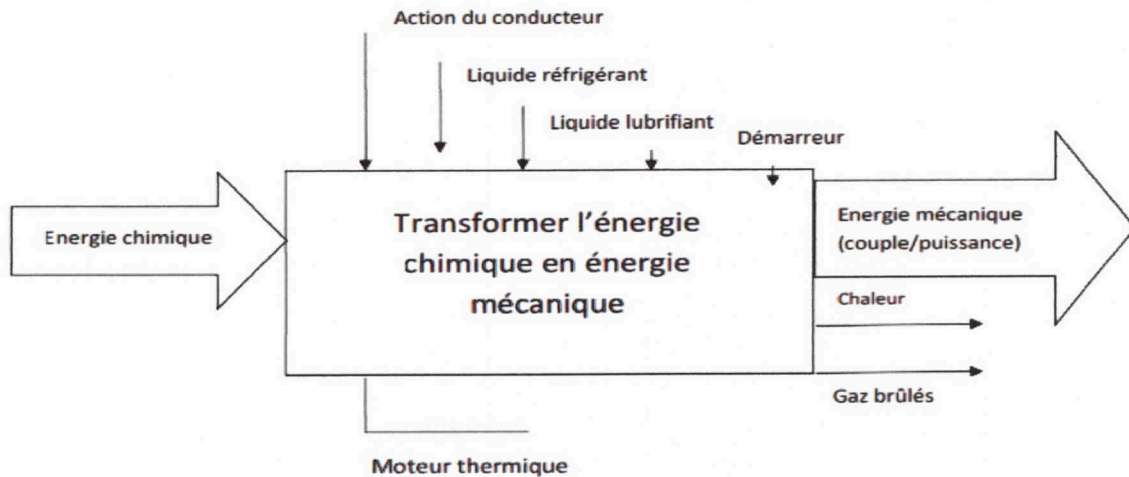
Figure 2.2 : Les organes constitutifs d'un tracteur agricole





2.1 Le Moteur : source d'énergie

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique à l'énergie mécanique. Ils sont encore appelés les moteurs à combustion.



2.1.1 Constitution du moteur

Les moteurs de tracteurs sont des moteurs diesel quatre temps. Les quatre temps constituent un cycle répété par chaque piston du moteur. Ce sont ces pistons qui assurent la transmission de la puissance de l'explosion du carburant, vers une rotation du vilebrequin, auquel seront reliées les roues motrices. La transformation du mouvement de translation du piston vers une rotation de l'arbre se fait à travers les bielles et grâce à la forme de l'arbre (les accroches des bielles sur l'arbre étant excentrées par rapport à son axe de rotation). On peut aussi comparer le vilebrequin à un pédalier de vélo.

2.1.1.1 Bloc-moteur

C'est la pièce centrale du moteur. Elle est fabriquée d'une seule pièce en fonderie (coulée dans un moule) puis usinée pour contenir les autres pièces du moteur : piston, vilebrequin, arbre à cames... Sur la plupart des tracteurs le bloc-moteur est dit « porteur » car il est situé entre les essieux avant et arrière et supporte donc des efforts importants. Quelques constructeurs installent un châssis sur lequel le moteur est fixé au moyen de « silents blocs » (comme une automobile). Il comporte des galeries où circulent le liquide de refroidissement et l'huile du moteur.



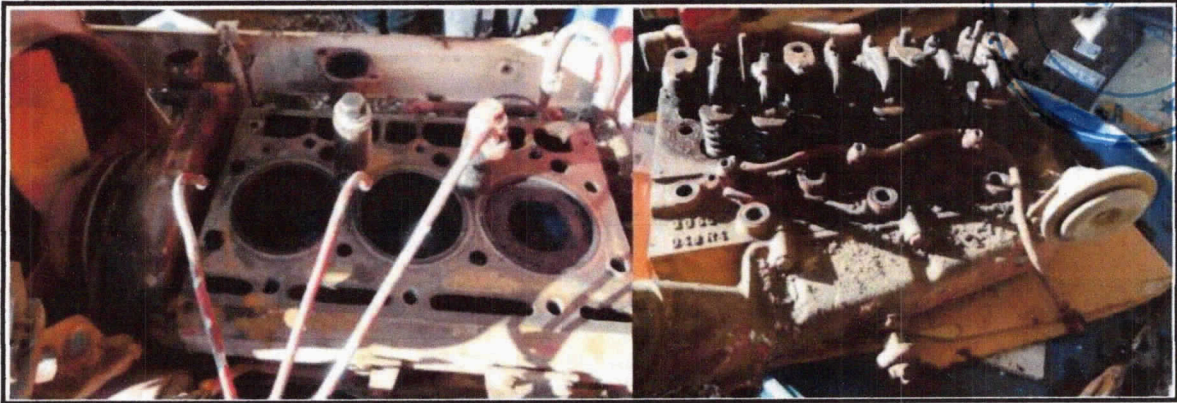


Figure 2.3 : Bloc moteur

2.1.1.2 Pistons

Ce sont des cylindres sur lesquels s'exerce la poussée de l'explosion. Ils peuvent être montés de plusieurs façons dans le bloc-moteur :

- s'ils sont disposés directement dans des alésages usinés dans le bloc on parle alors de « bloc alésé ». Ce montage de plus en plus fréquent permet de diminuer le nombre de pièces donc le coût de fabrication. Le liquide de refroidissement circule dans des canalisations du bloc ; il n'y a donc pas de risques de fuites. En revanche, en cas d'usure il est nécessaire de changer le bloc-moteur car le réalésage n'est pas toujours possible et souvent onéreux ;
- le bloc peut être alésé à un diamètre supérieur à celui du piston (de plusieurs millimètres) afin de pouvoir introduire une pièce cylindrique d'usure appelée chemise sèche. Elle n'est pas en contact avec le liquide de refroidissement mais avec une paroi du bloc. Pour un bon refroidissement le contact avec la paroi doit être parfait. Cela nécessite une précision d'usinage et un montage « à force ». La chemise sèche sera remplacée en cas d'usure ce qui permet de conserver le bloc-moteur ;

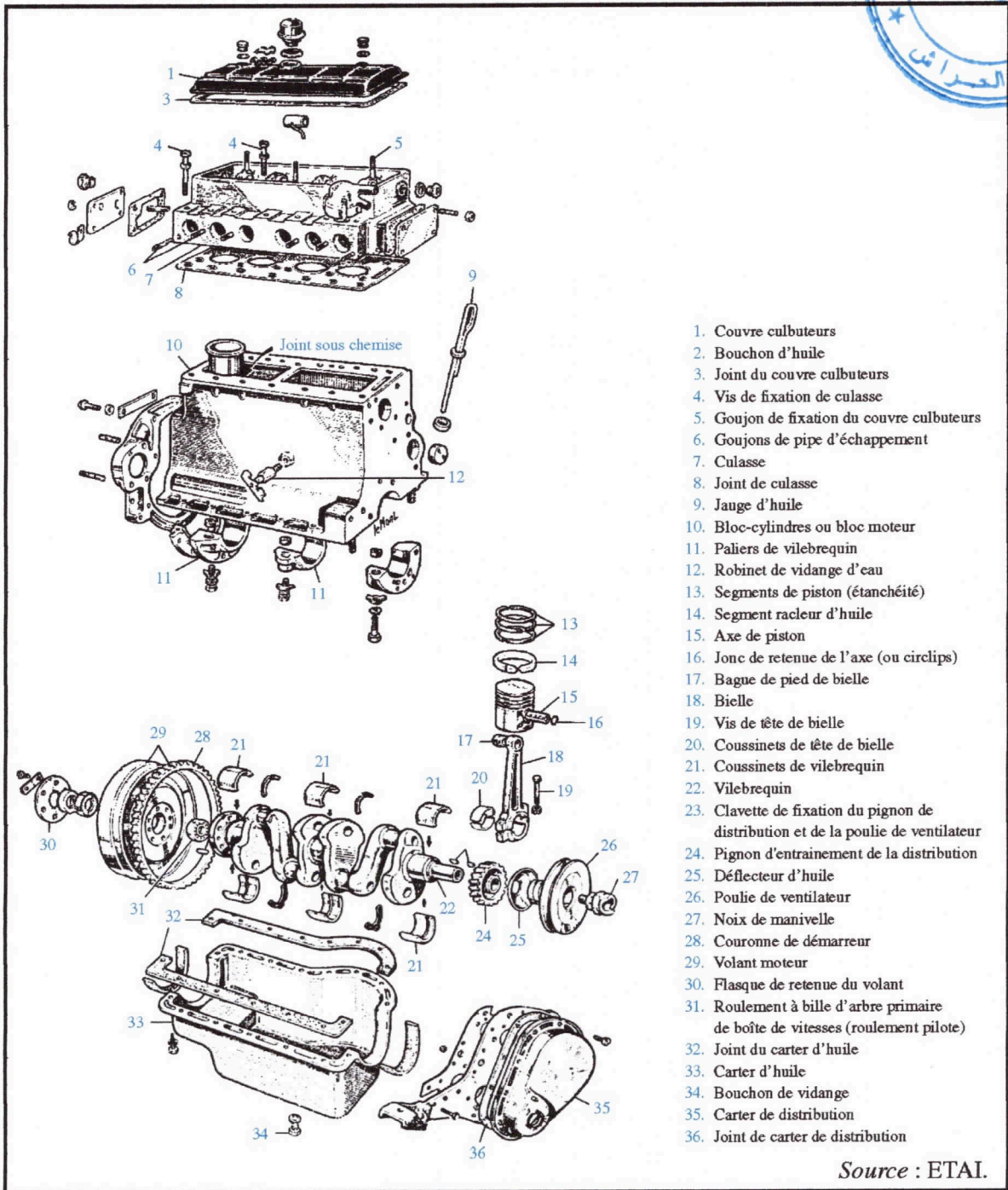
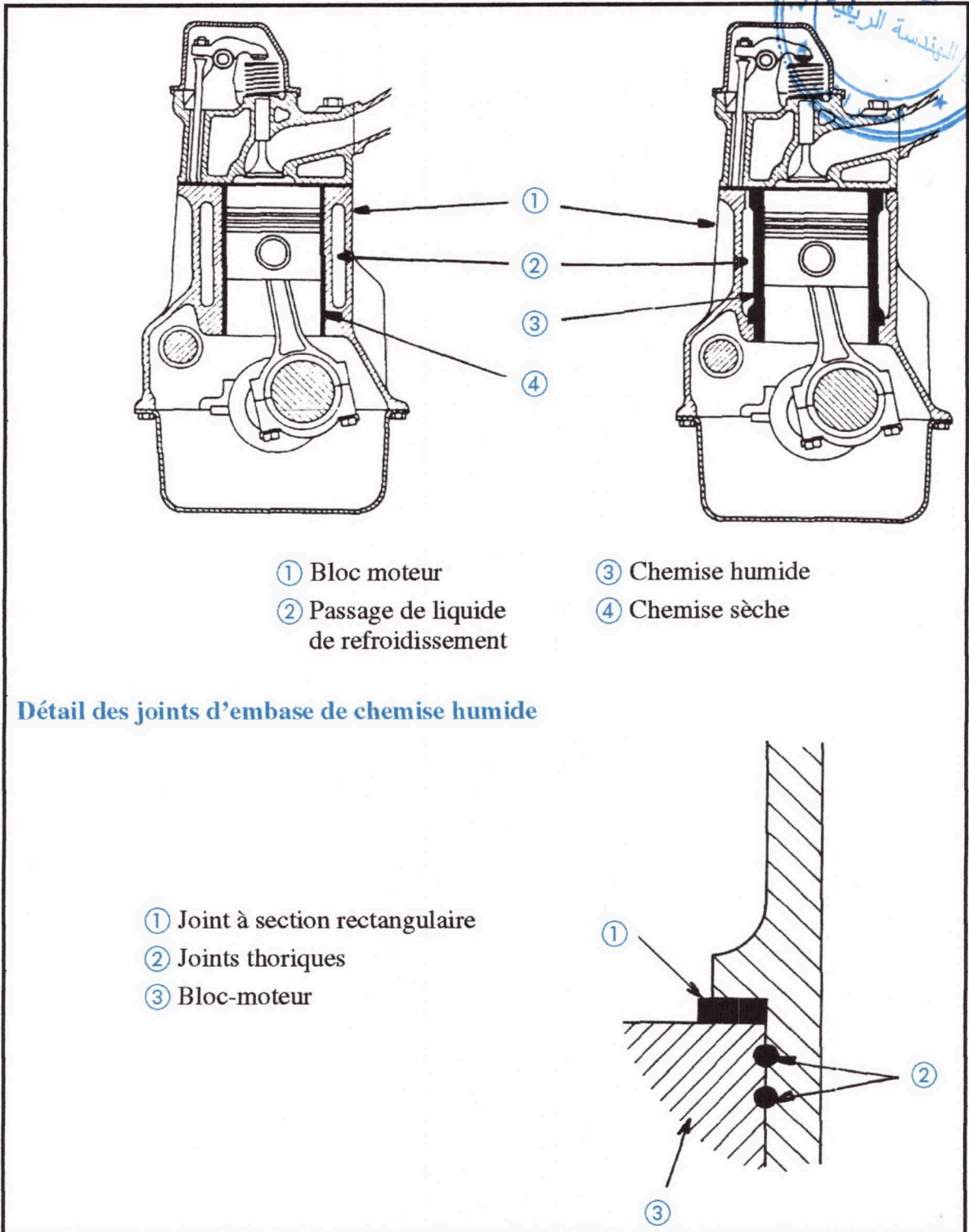
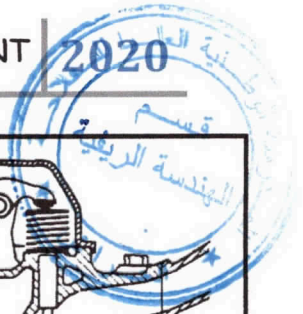


Figure 2.4 : Vue éclatée d'un moteur classique : 4 temps, 4 cylindres en ligne avec bloc cylindre chemisé, arbre à cames latéral avec soupape en tête commandées par culbuteurs.





- ① Bloc moteur
- ② Passage de liquide de refroidissement

- ③ Chemise humide
- ④ Chemise sèche

Détail des joints d'embase de chemise humide

- ① Joint à section rectangulaire
- ② Joints thoriques
- ③ Bloc-moteur

Figure 2.5 : Les deux types de chemise.

– le bloc n'est constitué que de parois extérieures. Le piston est alors guidé dans un cylindre amovible appelé chemise humide car en contact avec le liquide de



refroidissement. Ce montage favorise les échanges thermiques donc le refroidissement mais nécessite une très bonne étanchéité pour éviter toute fuite. La base de la chemise est donc munie de joints dits d'embase (joint à section carrée et joints toriques). L'étanchéité en haut des chemises est assurée par le joint de culasse. Chaque constructeur choisit généralement l'un de ces trois montages pour tous les modèles de sa gamme. Les blocs alésés ont tendance à se généraliser à cause de leur moindre coût. L'efficacité de chaque montage dépend surtout des matériaux utilisés et de la qualité de montage. L'étanchéité entre le piston et le bloc (ou la chemise) est assurée par trois segments : un segment dit « coup de feu », un segment d'étanchéité puis un segment dit « racleur d'huile ». Un nombre plus important de segments augmenterait la longévité du moteur mais aussi les frottements. Cela serait obtenu au détriment de la « nervosité » du moteur.

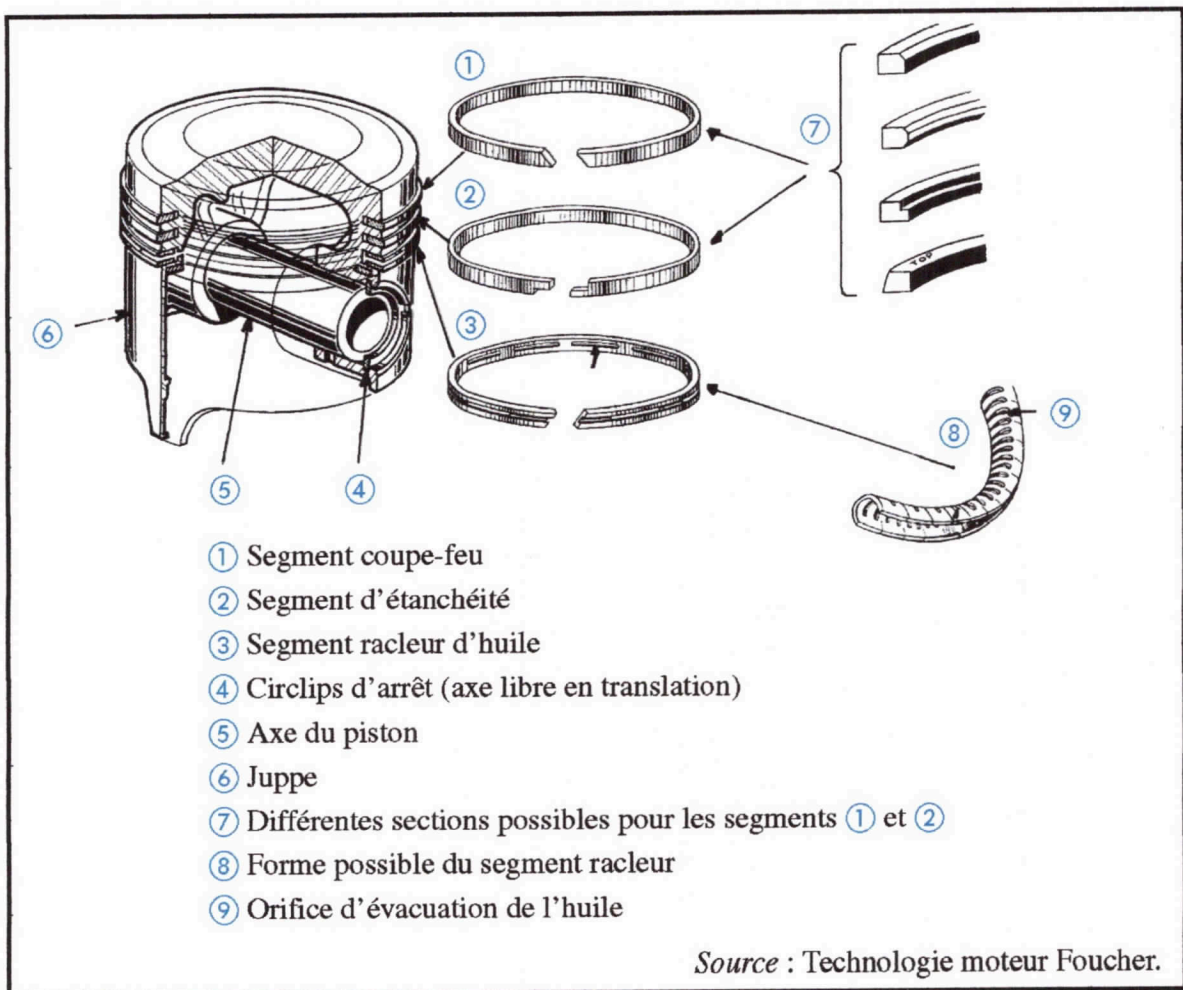


Figure 2.6 : Vue en coupe d'un piston.



2.1.1.3 Bielles

Elles relient le piston au vilebrequin donc transforment le mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire. Le pied de bielle est relié au piston par un axe et la tête de bielle est reliée au vilebrequin.

2.1.1.4 Vilebrequin

Il peut être réalisé d'une seule pièce en fonderie ou par forgeage puis usiné et équilibré. Les paliers de fixation appelés tourillons sont situés sur l'axe de rotation. Les manetons correspondent aux endroits où sont fixées les bielles. Pour diminuer les frottements les manetons et tourillons sont montés sur deux demi- coussinets : ce sont des languettes en forme d'arc de cercle sur 180° chacune et revêtues de régule (alliage antifriction à base d'étain). La forme du vilebrequin dépend de l'ordre d'allumage du moteur. Il comporte des masses métalliques permettant de l'équilibrer statiquement et dynamiquement. La précision d'usinage est de l'ordre du centième de millimètre. Le vilebrequin ne tolère pas de déformation sinon il doit être rectifié ou changé (c'est une des pièces les plus onéreuses du moteur).

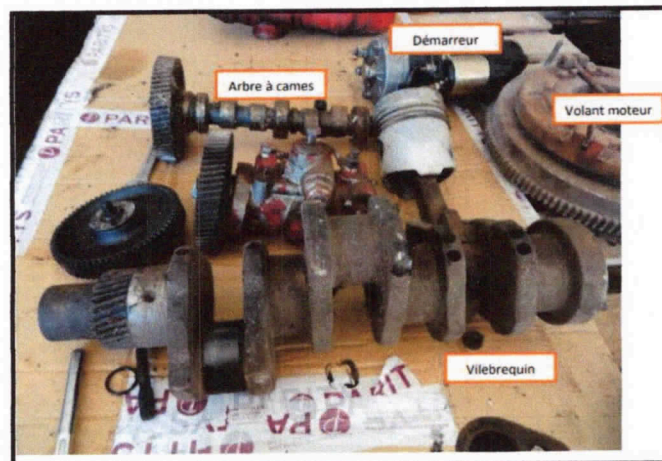


Figure 2.7 : Les organes mobiles du moteur

2.1.1.5 Arbre à cames

Il est situé sur le côté du moteur, à mi-hauteur, d'où son nom d'arbre à cames latéral. Il est directement installé dans un alésage du bloc (dépourvu de bague ou coussinet). Il est équipé de plusieurs bossages permettant les ouvertures des soupapes par l'intermédiaire des poussoirs, tige de culbuteur et culbuteurs. Les moteurs de tracteurs disposent de deux soupapes par cylindre (une d'admission et une d'échappement). Il faut donc deux cames sur l'arbre par cylindre du moteur. Il entraîne généralement d'autres équipements annexes tels que la pompe à gasoil, la pompe à huile moteur...

2.1.1.6 Culasse

Cette pièce est coulée d'une seule pièce en fonderie. Elle ferme le bloc-moteur à sa partie supérieure. L'étanchéité des cylindres est due à sa précision d'usinage et à la présence du joint de culasse. Sa réalisation est compliquée car elle nécessite de



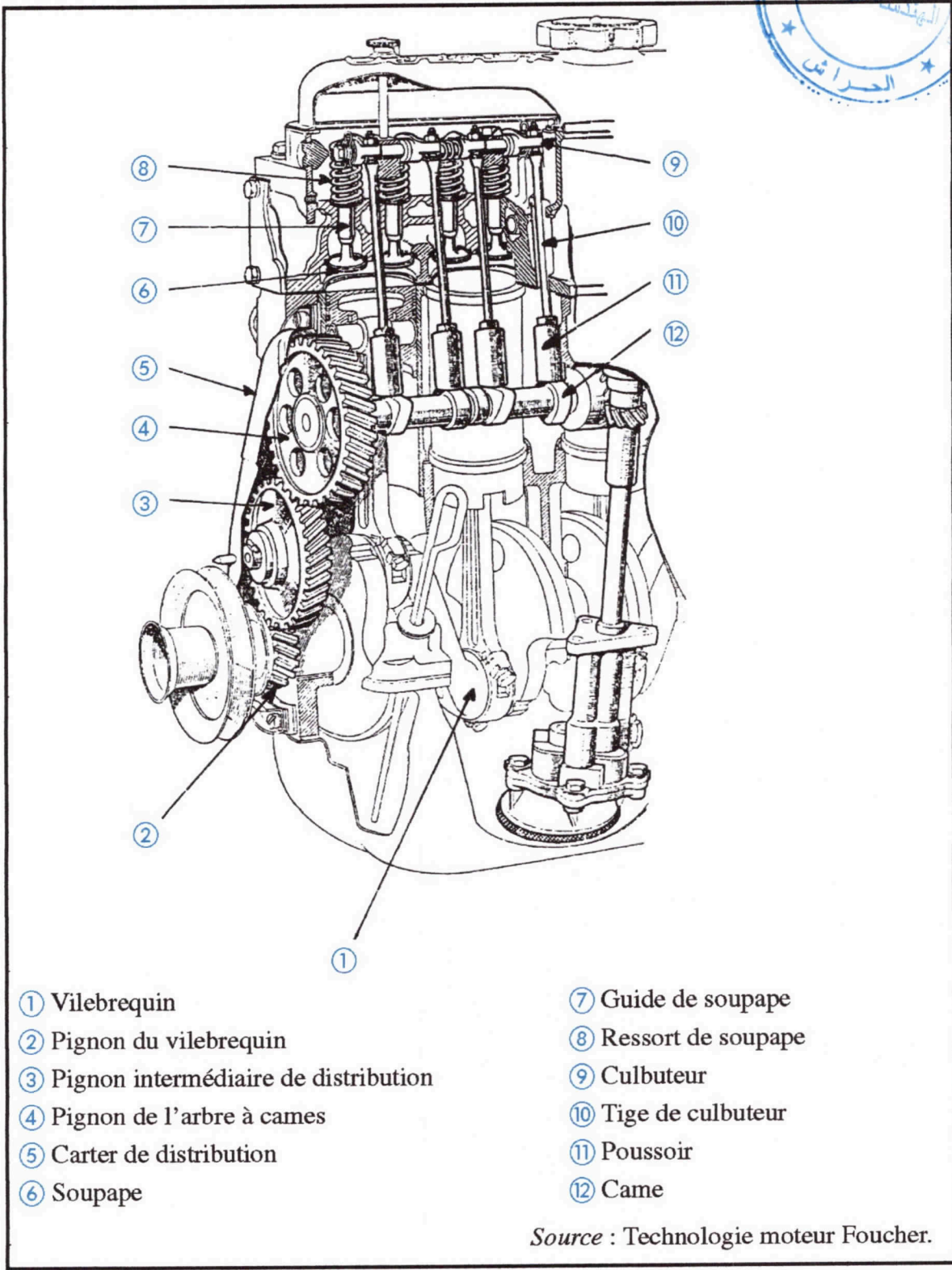


nombreux usinages pour y installer les soupapes (deux par cylindre), les culbuteurs, les tiges de culbuteurs, les passages de liquide de refroidissement, les injecteurs (pour un moteur Diesel), les vis de fixation sur le bloc, les chambres de combustion, les passages d'huile (pour le graissage des culbuteurs). La surface inférieure doit être plane pour une bonne étanchéité. En cas de faibles déformations (en général quelques centièmes de millimètres), la culasse peut être rectifiée (si cela est prévu d'origine). Cela se produit généralement lors d'une surchauffe du moteur. Pour des déformations plus importantes dépassant la « cote de déformation » donnée par le constructeur, elle doit être remplacée par une neuve.

2.1.1.7 Carter

Le carter ferme le moteur en partie inférieure et contient l'huile nécessaire à sa lubrification. Un joint de carter évite toute fuite d'huile. Le carter contient la pompe à huile fixée sur le bloc et entraînée par la distribution ou par l'arbre à cames. L'étanchéité du vilebrequin à chaque sortie du bloc est assurée par deux joints à lèvres appelés joints de palier avant et arrière du vilebrequin. Ils sont montés serrés entre le bloc et le carter. Toute fuite du joint de palier avant est facilement repérable au niveau de la poulie du vilebrequin. En revanche, une fuite au joint de palier arrière sera masquée par le volant moteur et la cloche d'embrayage. Elle n'est détectée bien souvent que par la défectuosité de l'embrayage : le disque est alors enduit d'huile et l'embrayage « patine ».





- | | |
|--|----------------------|
| ① Vilebrequin | ⑦ Guide de soupape |
| ② Pignon du vilebrequin | ⑧ Ressort de soupape |
| ③ Pignon intermédiaire de distribution | ⑨ Culbuteur |
| ④ Pignon de l'arbre à cames | ⑩ Tige de culbuteur |
| ⑤ Carter de distribution | ⑪ Pousoir |
| ⑥ Soupape | ⑫ Came |

Source : Technologie moteur Foucher.

Figure 2.8 : Vue d'un arbre à cames latéral et son entraînement.





2.1.1.8 Volant moteur et masses d'équilibrage

Bien que les explosions de tous les cylindres soient décalées dans le temps, le mouvement du vilebrequin n'est pas parfaitement régulier. Pour atténuer et réduire au maximum les vibrations, les constructeurs fixent sur le vilebrequin à la sortie du moteur un disque métallique appelé volant moteur. L'énergie cinétique lorsqu'il est en rotation en régularise la vitesse. Pour être efficace le volant doit être équilibré et sa position repérée par rapport au vilebrequin (souvent grâce à un pion de centrage). D'autres constructeurs rajoutent (sur des moteurs 3 et 4 cylindres) deux arbres d'équilibrage parallèles, tournant en sens inverse et positionnés parallèlement au vilebrequin de chaque côté. Leurs masselottes excentrées réduisent ainsi les vibrations à condition de respecter leur calage (positionnement par rapport au vilebrequin).

2.1.2 Caractéristiques du moteur

Le point mort haut ou PMH correspond à la position la plus haute du piston. Le point mort bas ou PMB correspond à la position la plus basse du piston. La course est la distance entre le PMB et le PMH. C'est aussi la longueur de déplacement du piston ou le diamètre du vilebrequin. L'alésage est le diamètre intérieur du cylindre. Le volume intérieur du cylindre entre le PMH et le PMB est appelé cylindrée unitaire (V). Il correspond au volume de déplacement du piston. La cylindrée totale du moteur est égale à la cylindrée unitaire multipliée par le nombre de cylindres.

La chambre de combustion (v) est le volume du cylindre situé au-dessus du PMH. Le taux de compression ou rapport volumétrique est donné par un rapport sans unité. C'est le rapport entre le volume d'air entrant dans le cylindre à chaque cycle ($V + v$) par rapport au volume restant en fin de compression (v) soit $V + v/v$.



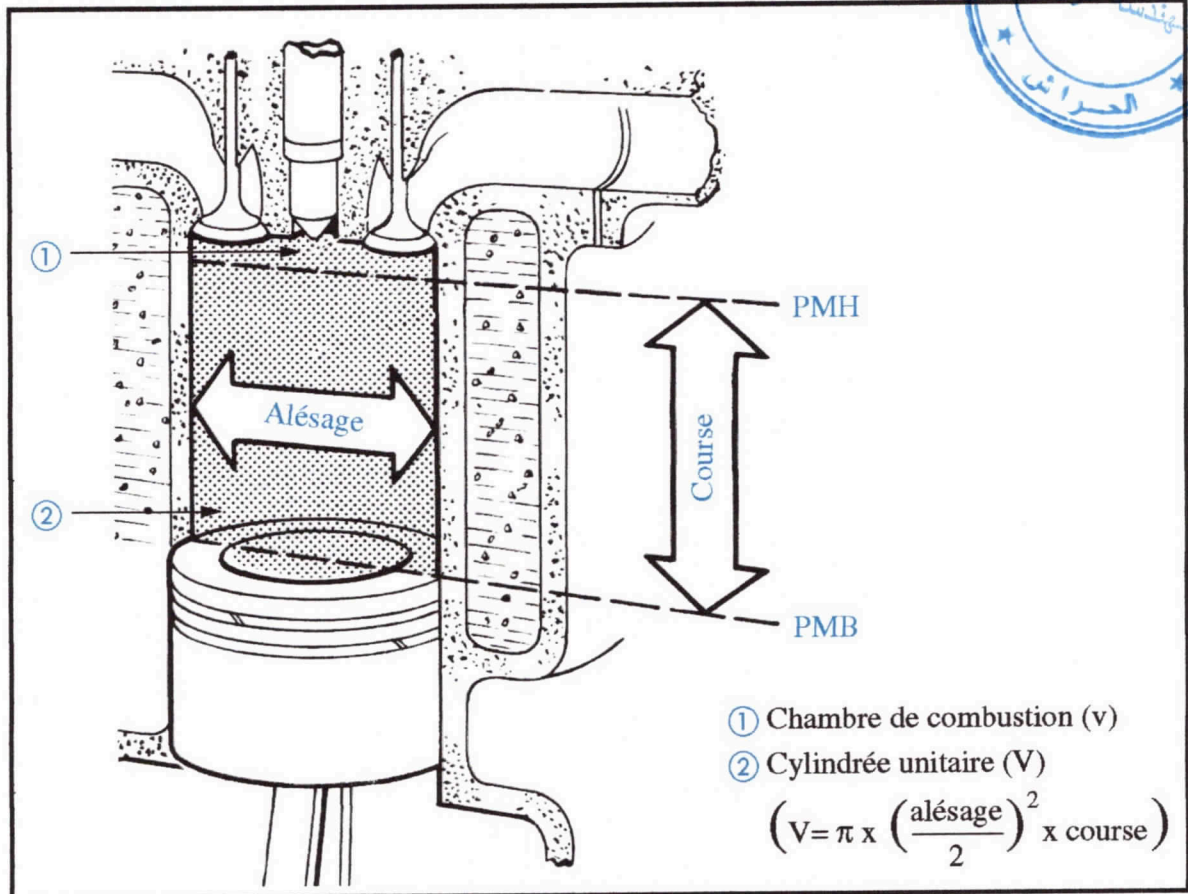


Figure 2.9 : Les caractéristiques du moteur.

Les moteurs Diesel ont un rapport volumétrique de l'ordre de 15/1 à 25/1, donc relativement élevé à cause du principe même de la combustion. La pression en fin de compression est la pression existante dans le cylindre lorsque le piston est au PMH en fin de compression (les deux soupapes sont fermées). Cette pression est en général donnée en bars par le constructeur pour un moteur tournant à 400 tours/min de régime (soit moteur tournant avec le démarreur mais sans démarrer).

Le régime moteur indiqué par le compte-tours indique la vitesse de rotation du vilebrequin (700 à 800 tours/min pour le régime ralenti et 2 000 à 2 200 tours/min pour le régime maxi). Les moteurs de tracteur disposent de 3 à 6 cylindres en ligne (parallèles) suivant leur puissance :

3 cylindres : 40 à 60 chevaux

4 cylindres : 60 à 100 chevaux

5 cylindres : quelques tracteurs de 90 chevaux (abandonné pour des raisons d'équilibrage)

6 cylindres : 100 chevaux et plus.



Certains engins automoteurs de fortes puissances (150 à 200 chevaux et plus) sont équipés de moteurs en V, soit V6 soit V8 moins encombrants. En effet les cylindres sont disposés alternativement sur deux rangées réalisant entre elles un angle de 40 à 90°.

Pour le sens de rotation d'un moteur il n'y a pas de règle générale car chaque constructeur choisit son propre sens de rotation dont dépendront ensuite les autres organes du moteur (démarreur, alternateur) et la transmission. De même le cylindre numéro un (utilisé pour de nombreux réglages) peut se situer côté volant-moteur ou côté radiateur c'est-à-dire de l'un ou de l'autre côté du moteur (suivant le choix du constructeur).

Toutes les caractéristiques sont propres à chaque moteur : on peut les trouver sur la fiche technique du constructeur ou sur des revues techniques.

Le fonctionnement se déroule sur un cycle de quatre phases successives, ou quatre temps.

2.1.2.1 Admission

Le piston descend du PMH au PMB. La soupape d'admission s'ouvre quand le piston est au PMH. La descente crée une dépression dans le cylindre qui aspire l'air extérieur après passage dans le filtre à air. Lorsque le piston arrive au PMB la soupape d'admission se ferme. Le piston descend car il est entraîné par le vilebrequin lui-même entraîné par l'énergie cinétique du volant moteur.



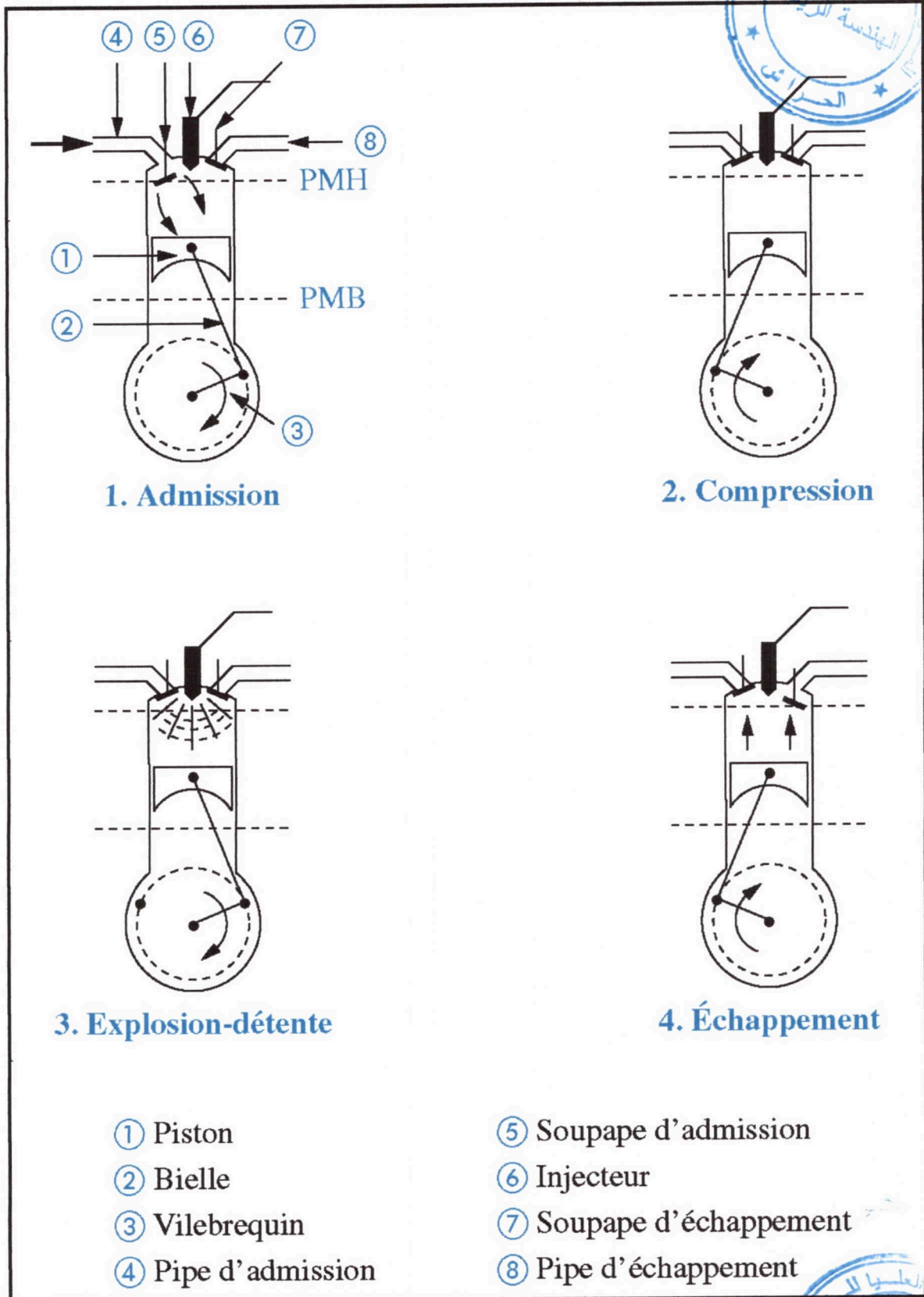


Figure 2.10 : Le moteur à 4 temps.



2.1.2.2 Compression

Les deux soupapes sont fermées. Le piston remonte du PMB vers le PMH. L'air précédemment admis est comprimé dans le volume de la chambre de combustion. À cause du taux de compression élevé il se produit un échauffement important de l'air.

2.1.2.3 Explosion-détente

Lorsque le piston est au PMH, un injecteur pulvérise, dans l'air chaud et comprimé, du gasoil en fines gouttelettes. La combustion se déclenche sans étincelle : c'est une réaction chimique exothermique c'est-à-dire avec dégagement de chaleur. Les gaz s'échauffent dans le volume de la chambre de combustion c'est-à-dire dans un volume déterminé. Il s'ensuit une montée des gaz en pression qui refoule le piston vers le bas jusqu'au PMB. C'est le seul temps moteur qui permet au volant d'emmagasiner de l'énergie cinétique et d'assurer ainsi sa rotation pendant les trois temps suivants. En réalité pour obtenir une pression maximale sur le piston en tenant compte du délai d'inflammation du carburant, le début d'injection doit se produire avant le PMH. C'est le point d'injection repéré par un angle d'avance à l'injection sur le vilebrequin (par rapport au PMH fin compression).

2.1.2.4 Échappement

La soupape d'échappement s'ouvre quand le piston est au PMB. Le piston remonte et chasse les gaz d'échappement ou gaz brûlés vers l'extérieur. La soupape d'échappement se ferme au PMH et un nouveau cycle peut commencer. Chaque temps moteur correspond à une montée ou une descente du piston. Les quatre temps se déroulent donc sur 2 tours du vilebrequin. Sur un cycle de quatre temps chaque soupape s'est ouverte une fois. Comme l'arbre à cames ne possède qu'une came par poussoir, il doit donc tourner d'un tour. On dit que l'arbre à cames tourne à mi-vitesse du vilebrequin. Si un moteur tourne à un régime de 2 000 tr/mon, il se produit 1 000 explosions par minute et par cylindre.

2.1.3 Comparaison moteur diesel et moteur à essence

La différence essentielle entre un moteur du type **diesel** et un moteur à **essence** réside dans le **mode d'inflammation du carburant** et de la caractéristique d'auto-inflammation de ce dernier. *Si dans une masse d'air suffisamment comprimée pour que sa température atteigne une valeur déterminée, on introduit un combustible finement pulvérisé, la combustion se déclenche par auto-inflammation.*

Le phénomène d'auto-inflammation résulte lui-même :

- d'une part, d'un rapport volumétrique très élevé : 16/1 à 24/1;
- d'autre part, de la haute température engendrée par ce rapport 600°C.

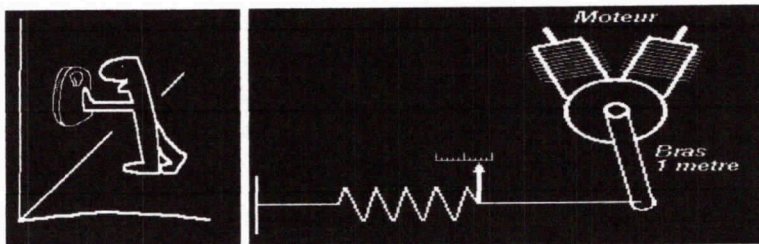
2.1.4 Notion de couple, vitesse et puissance

Comment savoir ce qu'est le couple moteur ?



C'est très simple, et tu peux même te mettre à la place de ton moteur!

Lorsque ta voiture est en panne et que tu la pousses, tu exerces sur elle une force que tu peux comparer au couple moteur. Pour pouvoir la mesurer, rien de plus simple, il suffit de prendre une balance domestique, de la plaquer contre le mur et de s'appuyer dessus. Si nous regardons ce qu'elle indique, cela peut nous donner une bonne indication de la force que nous pouvons appliquer sur la voiture.



Le problème, c'est qu'un moteur, cela ne pousse pas sur quelque chose, c'est simplement un axe qui tourne.

- ❑ **Le couple moteur:** pour simplifier, est la force de rotation produite par le moteur. Il est exprimé en N.m (Newton.mètre) et équivaut à 0,102 mkgf (mètre par kilogramme force).
- ❑ **le régime moteur** est le nombre de rotations effectuées par un moteur par unité de temps. En général, il est exprimé en tours par minute. Il peut être mesuré au moyen d'un compte-tours ou d'un stroboscope.



Figure 2.11 : Compteur de régime tr/min

- ❑ **Notion de puissance :** Un mobile soumis à un couple (en N·m) et tournant à la vitesse angulaire instantanée (en rad/s), produit une puissance instantanée égale à :

$$Puissance (W) = couple (N.m) \times \omega(rad/s)$$

Avec :

$$\omega = \frac{2\pi \times N(tr/min)}{60}$$

L'unité de puissance du SI est le Watt (symbole : W), qui correspond à un joule fourni par seconde.





On utilise encore le cheval-vapeur dans le cas des moteurs thermiques :

1 cv = 736 W environ.

2.1.5 Éléments de transmission

La série d'éléments reliant la sortie du moteur et les roues constitue le circuit de transmission. Il est constitué de l'arbre moteur (vilebrequin), de l'embrayage, de la boîte de vitesse, du différentiel, des réducteurs et des roues. Dans le cas d'un tracteur à 4 roues motrices, on aura un pont avant équipé également d'un différentiel et de réducteurs.

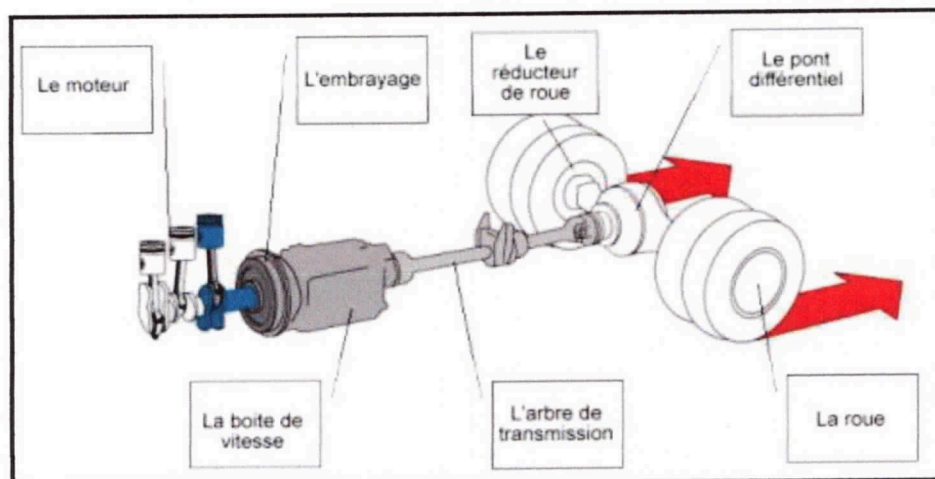


Figure 2.12 : Éléments de transmission du tracteur agricole

Détaillons le fonctionnement de ces éléments :

2.1.5.1 Embrayage

il consiste à transmettre ou non le mouvement de rotation de l'arbre moteur à l'entrée de la boîte de vitesse. Il est composé d'un disque d'embrayage (lié à l'arbre de sortie) qui sera comprimé entre le volant moteur et un plateau mobile. Ce serrage va entraîner la rotation de la transmission.



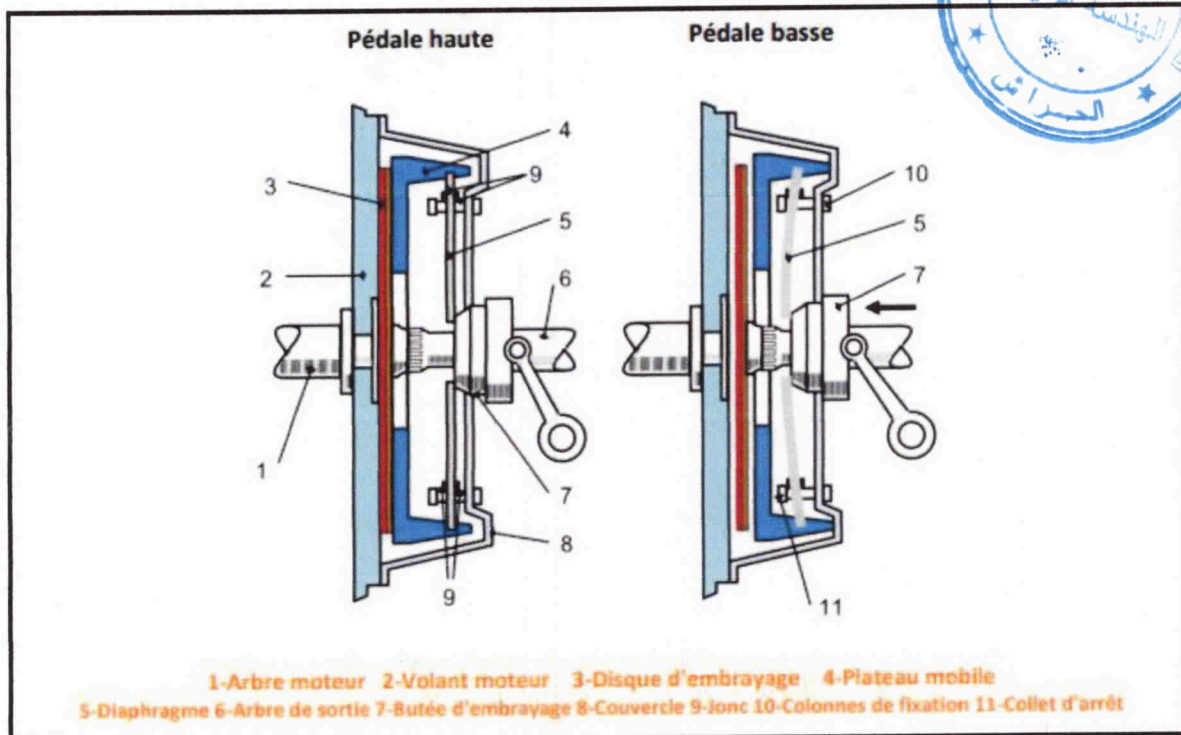


Figure 2.13 : Embrayage

2.1.5.2 Boîtes de vitesses

- **Technologies**

La transmission mécanique est la plus basique, un premier levier permet de changer de gammes, tandis qu'un deuxième actionne les rapports. C'est une mécanique très simple, fiable et généralement moins onéreuse à réparer. C'est aussi celle qui transmet le mieux l'énergie du moteur. Il n'y a pas de pompe hydraulique, que des engrenages. Ce type de transmission oblige le tractoriste à choisir le bon rapport avant de relâcher la pédale d'embrayage, car une fois en mouvement, il est difficile de changer les rapports, surtout sous charge. Dans la même veine, si l'opérateur désire passer de la marche avant à la marche arrière, il devra s'immobiliser complètement avant de placer le levier d'embrayage en marche arrière (inconvenient lors de l'utilisation d'un chargeur).

- **L'inverseur hydraulique**

Permet un changement de marche avant/arrière sans devoir attendre l'arrêt du tracteur. Ce système permet une économie d'usure du système d'embrayage, surtout quand on utilise un chargeur.

- **La synchronisation des vitesses**

Permet le passage de rapport sans s'arrêter, mais en débrayant tout de même. Il existe des boîtes semi-synchronisées (généralement plutôt dans les vitesses hautes) ou à synchronisation complète. Sans vitesses synchronisées, il faut démarrer le tracteur



directement avec le rapport voulu, et monter les vitesses en jouant avec l'embrayage. Sur certains modèles ; le passage des gammes peut aussi être synchronisé. Attention : les vitesses rampantes (~200m/h) sont pour des utilisations sans nécessité de traction sinon il y a un risque de casse de la boîte de vitesse.

- **La transmission PowerShift**

Permet de passer les vitesses sans débrayer, grâce à des embrayages multidisques à bain d'huile présents dans la boîte. Sur les boîtes semi-PowerShift, l'embrayage est encore utilisé pour le changement de gamme.

2.1.5.3 Différentiel

il permet aux deux roues du même pont de pouvoir tourner à des vitesses différentes. Ce qui est très important en virage puisque la roue intérieure au virage parcourt moins de distance que la roue extérieure et donc doit tourner moins vite si on ne veut pas qu'elle patine.

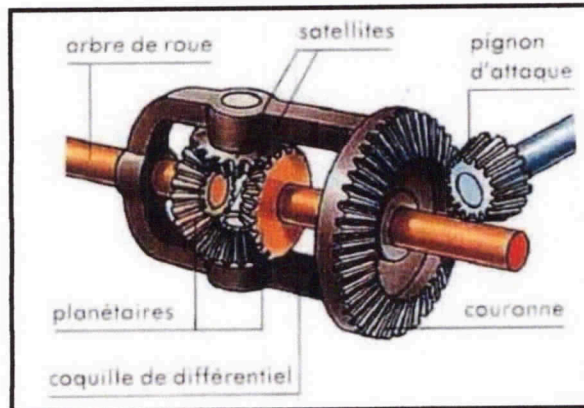


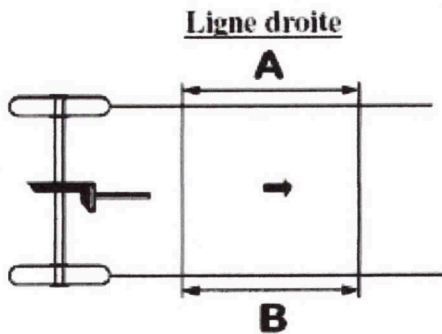
Figure 2.14 : Différentiel



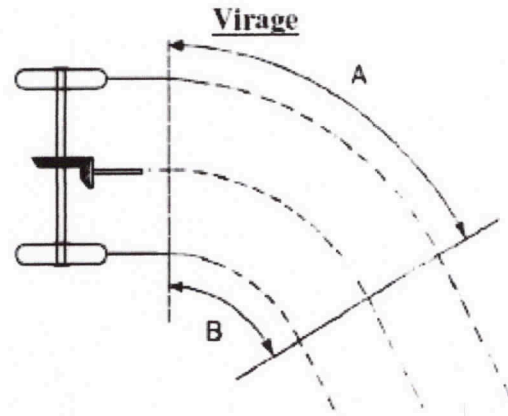


Le différentiel :

Nécessité :



Les roues parcourent **la même distance**
 $A = B$



La roue **extérieure** au virage doit parcourir une distance **supérieure** à la roue **intérieure** $A > B$

Conclusion : Si la transmission était rigide (Karting), une des roues serait obligée de **ripper**

Blocage de différentiel (pont arrière) Si l'une des roues d'un pont différentiel peut tourner librement (roue en l'air, ou glissant) toute la puissance sera transmise à cette roue et l'autre restera immobile. Le tracteur sera donc bloqué. Pour pallier à ce problème il est possible de bloquer le différentiel, pour que la puissance du moteur soit répartie de la même manière sur les deux roues du pont. Par contre, la direction donnée par les roues avant d'influera plus sur la trajectoire du tracteur : les deux roues arrière ayant la même vitesse et plus de contrôle sur le tracteur (puisque plus grosses), le tracteur ira tout droit.

2.1.5.4 Les réducteurs finaux

Situés au niveau des roues du tracteur, Ils ont un rôle d'un coté de surmultiplier le couple et d'un autre à démultiplier la vitesse.





Figure 2.15 : Le réducteur final

2.2 Traction et animation des outils

2.2.1 L'effort de traction

L'effort de traction correspond à la **force horizontale** fournie par un tracteur pour faire fonctionner l'outil qu'il tire. La **puissance de traction** est le produit de l'**effort de traction** par la **vitesse d'avancement**.

2.2.2 Bilan d'utilisation de la puissance par le tracteur

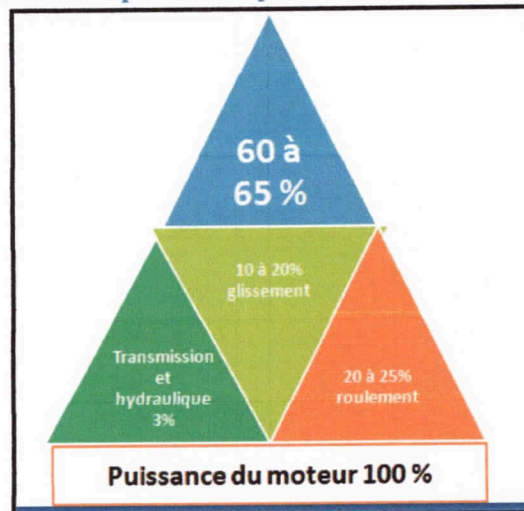


Figure 2.16 : Le bilan de puissance

2.2.3 La résistance au roulement

La force ou **effort de roulement** est la force horizontale à exercer pour assurer le déplacement du tracteur lui-même.

La résistance au roulement est élevée quand:

- le poids du tracteur est lourd;
- La déformation des pneumatiques est élevée;
- Le sol est meuble (*Se dit d'un sol qui a peu de cohésion, qui est facile à travailler*).

2.2.4 Le glissement et l'adhérence

Les travaux de préparation du sol et particulièrement le labour, le décompactage et le sous solage requièrent d'**importants efforts de traction**. Afin de limiter un **gaspillage d'énergie** et l'**usure des pneumatiques**, ces travaux doivent être réalisés dans de **bonnes conditions d'adhérence**, afin de transmettre le **couple de traction** nécessaires avec un glissement le plus faible possible.





2.2.5 Le glissement

Au lieu de parcourir à chaque tour un chemin égale à sa circonférence (D), une roue motrice ne parcourt, en réalité qu'une distance plus faible (d).

La mesure du glissement s'exprime le plus souvent en pourcentage par la relation :

$$g (\%) = \frac{D - d}{D}$$

Le glissement est de 100% (patinage totale), lorsque, malgré les rotations des roues motrices, le déplacement du tracteur est nul.

2.2.6 L'adhérence

Pour mieux comprendre le phénomène de l'adhérence, **considérons d'abord la traction sur un sol dur** (béton par exemple). Le coefficient d'adhérence est, dans ce cas, théoriquement indépendant de la surface de contact roue – sol (dimension et pression des pneumatiques). Il ne dépend que de la nature des matériaux en présence (gomme et béton), conformément aux lois de coulomb.

En revanche, **sur sol agricole le phénomène est bien plus complexe à appréhender, car l'adhérence dépend de l'état et de la nature du sol, de la surface de contact avec le sol et de la sculpture des pneumatiques.**

Donc par définition, l'adhérence est la capacité des engins de traction, à utiliser leur propre poids pour se mouvoir et fournir un effort de traction, pour un glissement donné.

Des solutions pour améliorer l'adhérence :

- l'augmentation de la surface de contact avec le sol :
 - des pneumatiques larges
 - Jumeler les pneumatiques
 - Réduire la pression de gonflage



Figure 2.17 : Méthodes d'amélioration du lestage





- L'amélioration de l'accrochage avec le sol



Figure 2.18 : Tracteur à chenilles (à droite) et à crampons (à gauche)

- En réduisant le glissement par le lestage.

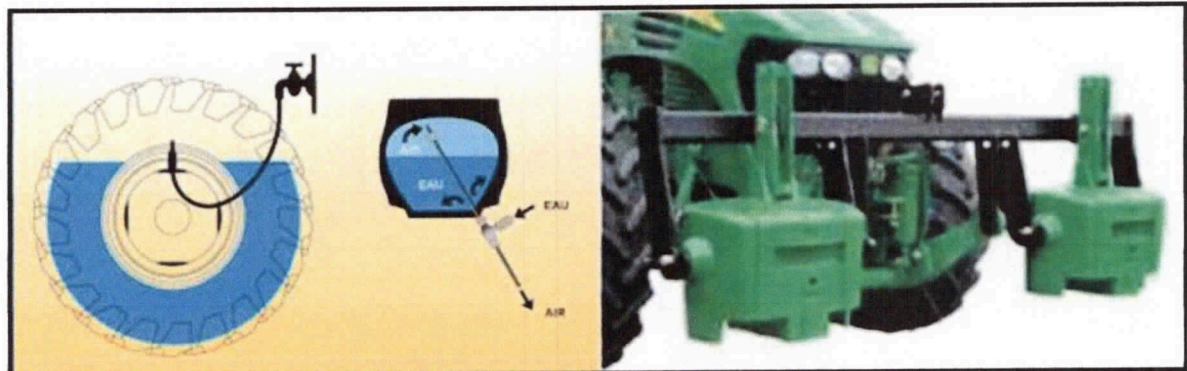


Figure 2.19 : Lestage du tracteur

Un lestage insuffisant entraine:

- Un patinage excessif
- Une usure excessif des pneus
- Une consommation de carburant accrue

Un lestage excessif entraine :

- Une résistance au roulement accrue, d'ou une perte de puissance de traction.
- Une surcharge des pneus et de la transmission.





- Un tassement du sol
- Une consommation de carburant plus élevée.

2.2.7 Les différents modes d'attelage des outils agricoles

Primordial, l'attelage d'un tracteur est ce qui permet de faire le lien entre votre machine et l'outil ou matériel agricole que vous tractez. Parmi les différentes pièces agricoles constituant l'attelage, il y a :

- **Bras de Traction:** ils relient le tracteur à l'outil (outils portés) et c'est par eux que passe tout l'effort de traction nécessaire pour tirer l'outil.
- **Points d'attelage inférieurs:** ils servent à arrimer les points d'attelages des outils. La version à rotule (boule percée au diamètre standard des axes des outils) demande une bonne maîtrise du tracteur pour les manoeuvres d'approche lors de l'accrochage. Les versions à crochet automatique (modèle de la photo ci-dessus), utilisent des rotules amovibles placées sur l'outil avant son accrochage. Le chauffeur n'a plus qu'à les "attraper" avec les bras de traction. L'attelage de l'outil est donc réalisé sans descendre du tracteur et demande un peu moins de précision qu'avec les rotules standard.
- **Bras de levage:** au nombre de deux, ils transmettent la poussée de l'hydraulique du relevage (partie interne du bloc de relevage) au bras de traction pour lever ou baisser l'outil par l'intermédiaire des chandelles.
- **Chandelles réglables:** ces tirants verticaux relient les bras de levage aux bras de traction. Ils sont réglables en longueurs par vissage ou dévissage et jouent un rôle fondamental pour le réglage des outils (aplomb).
- **Bloc de relevage:** en version mécanique, il contient toute la partie hydraulique (vérin, distributeur,..) ainsi que tous les mécanismes de commande et de contrôle (position et effort). En version électrohydraulique, on ne parle plus de bloc car tous les éléments (hydrauliques et électriques) sont extérieurs.
- **Troisième point ou barre de poussée:** il est constitué de deux embouts filetés à pas contraires et d'un manchon de liaison. Il permet de réaliser l'attelage supérieur de l'outil sur le tracteur. Comme pour les attelages inférieurs, la fixation coté outil peut être une rotule fixe ou amovible pour un attelage et dételage rapide. Les deux embouts sont filetés pour pouvoir faire varier sa longueur qui joue un rôle fondamental dans le réglage des outils (talonnage). Pour certaines applications le troisième point mécanique peut être remplacé par un vérin hydraulique commandé depuis le poste de conduite. Enfin le positionnement coté tracteur est multiple pour permettre de faire varier le report de charge de l'outil sur le tracteur; il détermine le point de convergence.





- **Rotule d'attelage supérieure:** comme pour les bras de traction, les outils sont liés au tracteur par une rotule (boules percée avec un diamètre normalisé selon la catégorie de puissance du tracteur), évitant toute rigidité de la liaison tracteur outil.
- **Stabilisateurs:** il existe différents modèles (presque un par marque de tracteur) mais leurs rôles restent les mêmes: empêcher ou contrôler le débattement latéral des outils au travail ou au transport. Ce contrôle du débattement latéral est très important aussi bien pour le réglage de l'outil que pour la sécurité du tracteur et du chauffeur.

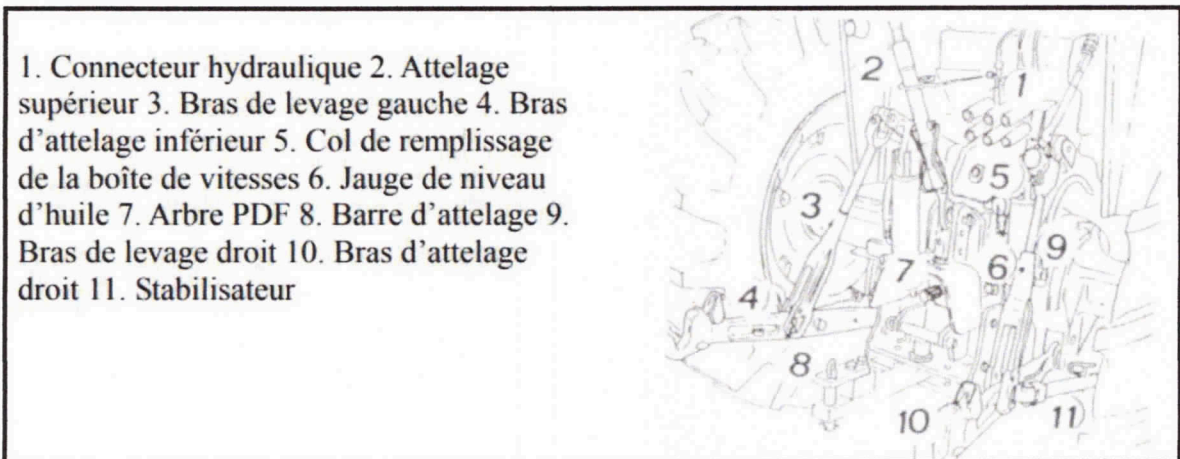
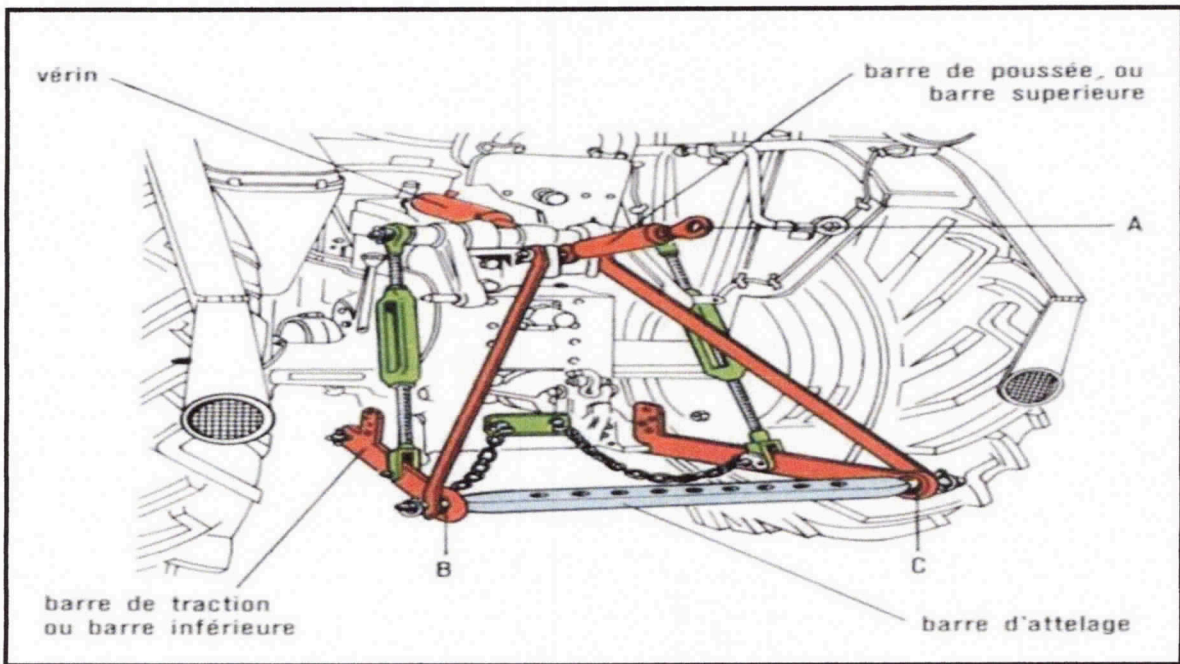


Figure 2.20 : Système d'attelage 3 points





2.2.8 Classification de l'attelage des outils agricoles

Une classification qui revient souvent pour distinguer les outils est en relation avec leur mode d'attelage au tracteur. On distingue généralement (quelle que soit leur fonction) :

- **les outils traînés** : l'essentiel du poids de l'outil est supporté par le sol;
- **les outils semi-portés** : l'attelage du tracteur supporte une partie du poids de l'outil qui possède donc au moins un point au sol;
- **les outils portés** : Le système d'attelage du tracteur supporte la totalité du poids de l'outils.
- **les automoteurs** : L'outil fait partie intégrante du tracteur qui est ainsi dédié à une seule fonction.

2.2.9 Le relevage hydraulique

Le **relevage hydraulique** des tracteurs agricoles permet de solliciter l'attelage trois points pour le relevage et le contrôle de position de l'outil attelé. Il s'agit d'un circuit hydraulique classique, comportant : **pompe, distributeur, vérin simple ou double effet, et limiteur de pression**. La principale particularité se trouve au niveau du **distributeur**, qui n'est pas commandé directement par le conducteur, mais par **asservissement**. En effet, par l'intermédiaire de l'attelage trois points, les relevages doivent permettre : le **contrôle de la position** de l'outil au travail, le **contrôle de l'effort de traction** et la traction des outils nécessitant un **attelage flottant**.

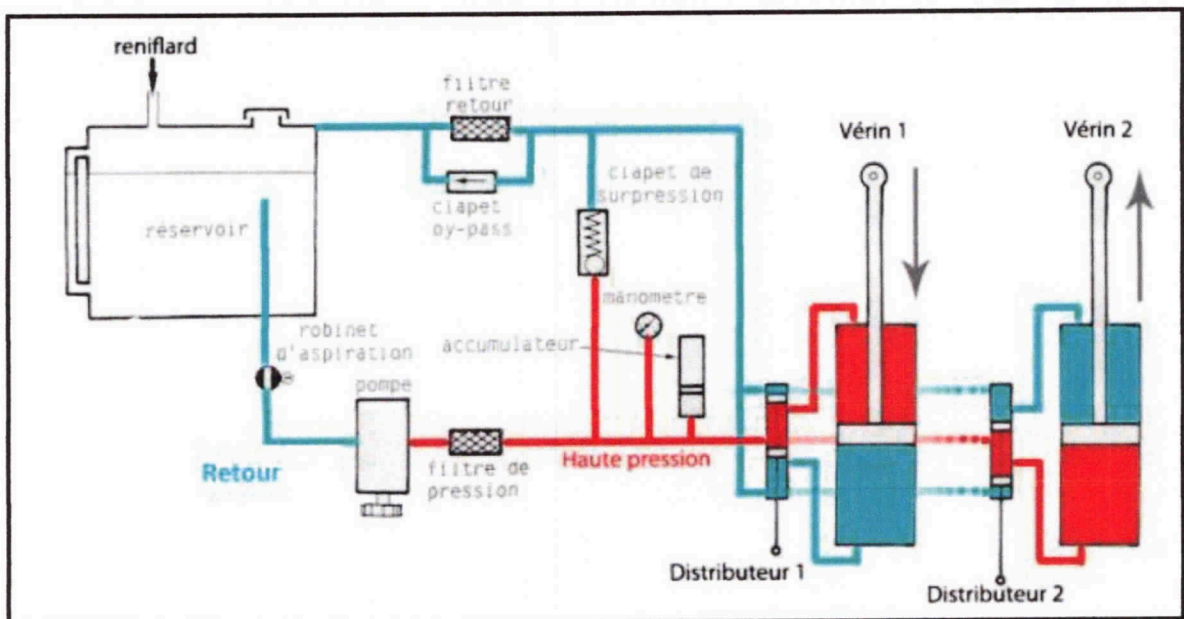


Figure 2.21 : Système du relevage hydraulique du tracteur

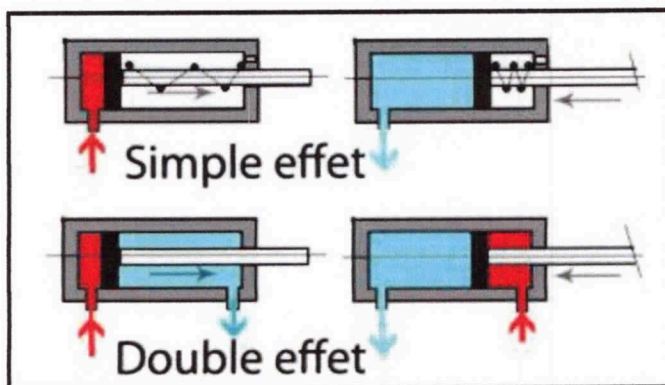
Le fonctionnement des distributeurs double effet est sensiblement similaire comme on peut le constater sur le schéma précédent. Sur ce schéma on peut différencier les parties



BP et HP du circuit, reliées par un clapet de surpression assurant une pression constante dans la partie HP sans que la pompe doivent s'arrêter de tourner (dès que la pression augmente trop, le clapet s'ouvre et de l'huile s'écoule directement vers le réservoir, jusqu'à ce que la pression retrouve la valeur souhaitée). On constate aussi l'intérêt du reniflard qui est de maintenir le réservoir (et donc toute la partie BP) à la pression atmosphérique.

❑ Vérins simple/double effet

Les vérins peuvent être simple ou double effet. Un vérin simple effet ne pourra pousser que dans un sens et n'aura qu'une entrée/sortie d'huile, alors que le vérin double effet a un contrôle dans les deux sens et deux entrées/sortie d'huile.



On utilisera le simple effet dans le cas d'outils dont le poids assurera la descente par gravité. Le vérin pourra pousser dans l'autre sens pour assurer la remontée de l'outil. Le double effet est par contre préférable pour les réglages de l'attelage. Les vérins sont contrôlés par des distributeurs branchés aux parties hydrauliques haute pression (HP) et retour du tracteur (respectivement en rouge et bleu sur les schémas).

❑ Distributeur simple effet

Un distributeur simple effet n'aura qu'une liaison au vérin qu'il contrôle :

- Levier position « pression » : le vérin s'allongera
- Levier position « retour » : le vérin ne sera soumis qu'aux forces extérieures (à savoir le poids de l'outil) et rentrera
- Levier au « neutre » : le vérin restera dans sa position

Il est possible de rajouter assez facilement des distributeurs supplémentaires à ceux déjà présents sur le tracteur Mais il est interdit de les installer dans la cabine du tracteur pour des raisons de sécurité liées aux hautes pressions.

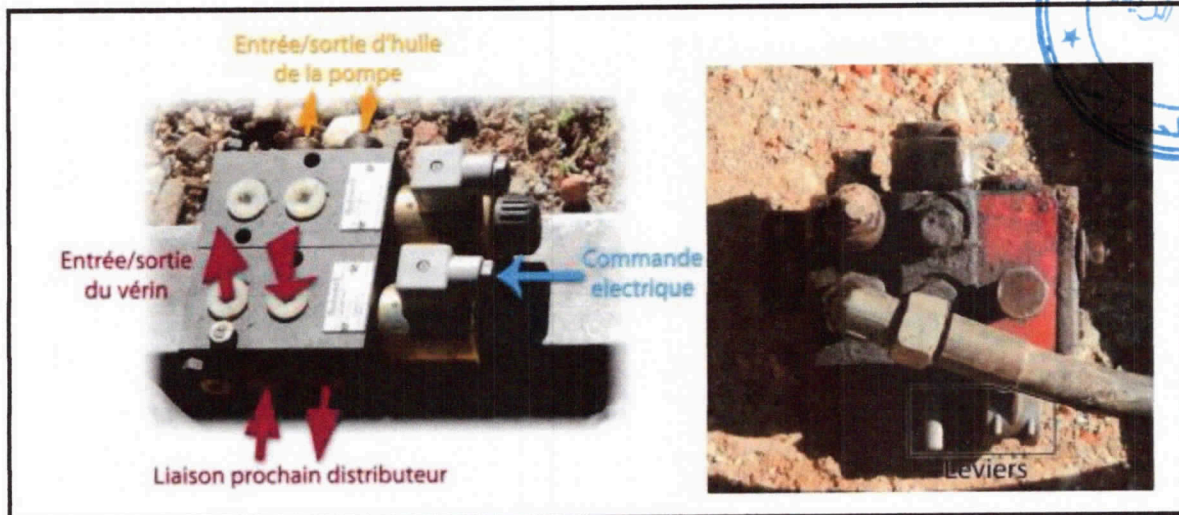


Figure 2.22 : Distributeur mécanique et électrique

Les distributeurs électriques ont l'avantage de pouvoir se trouver en dehors de la cabine alors que leur commande est à l'intérieur, ce qui est plus difficile à mettre en place avec des distributeurs mécaniques.

- **Contrôle de position :** La manette de commande de la position de l'outil est déplacée sur un secteur gradué ou chaque chiffre correspond à une hauteur définie.
- **Contrôle d'effort :** Si la résistance du sol varie à cause d'ondulations du terrain faisant soulever l'avant du tracteur et pénétrer la charrue plus profondément. il en résulte, une variation de compression sur la barre supérieure d'attelage ; cette variation est transmise au distributeur pour que ce dernier envoie de l'huile dans le vérin afin de soulever l'outil jusqu'à ce qu'on retrouve la valeur initiale de la résistance du sol
- **position flottante :** Obtenue en annulant le contrôle d'effort et de position. Pas d'action du système hydraulique. Cas des charrues trainées

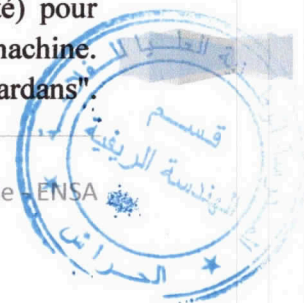


Type Utilisation	1 ^{er} type: un levier de contrôle d'effort (rouge) et un levier de contrôle de position (vert).	2 ^{ème} type: un levier de programmation (rouge) et un levier de réglage (vert).
En contrôle de position		
En contrôle d'effort		
En contrôle mixte.		
Profondeur de travail suivant le type de contrôle utilisé.	<p>Soil dur. Soil meuble.</p> <p>Profondeur</p> <p>— En contrôle de position. En contrôle d'effort. En contrôle mixte.</p>	<p>Soil dur. Soil meuble.</p> <p>Profondeur</p> <p>— En contrôle de position. En contrôle d'effort. En contrôle mixte.</p>

2.2.10 La prise de force

Le développement rapide des outils animés par la prise de force est lié à l'accroissement de la puissance des tracteurs. Avec les transmissions hydrauliques, ce mode de transmission de la puissance donne au tracteur une véritable fonction de centrale d'énergie permettant toutes les combinaisons de traction et d'animation mécanique.

Certains outils agricoles (gyrobroyeur, herse rotative, épandeur à engrais, etc.) ne peuvent fonctionner que si leurs mécanismes fonctionnels sont animés (rotation). Cette animation est rendue possible grâce à la prise de force située à l'arrière et quelque fois à l'avant du tracteur (option). La liaison du tracteur avec l'outil est assurée par deux demi arbres coulissant afin de permettre une variation de la longueur en fonction de la position du relevage hydraulique et par deux cardans (un à chaque extrémité) pour assurer les emmanchements et les verrouillages cotés tracteur et coté machine. L'ensemble est nommé communément "arbre de prise de force" ou "arbre à cardans".





Les demi-arbres sont coulissants permettant de s'adapter aux distances tracteur-machine lors des montées et descentes du relevage hydraulique.

Pour permettre à tous les tracteurs de pouvoir entraîner les outils utilisant la prise de force les sorties de prise de force coté tracteur ont des dimensions normalisées

2.2.10.1 Régime de rotation de la prise de force.

Les vitesses de rotation de la prise de force sont normalisées selon cinq régimes, ce qui permet d'adapter un même outil sur plusieurs tracteurs de marques différentes. Pour sélectionner le bon régime (défini par le constructeur de la machine à animée selon les normes en vigueur), le conducteur dispose d'une boîte de vitesse spécifique à la prise de force qui peut être à commande mécanique (levier) ou électrohydraulique (bouton poussoir).

- **Régime 540 tours par minute**
- **Régime 750 tours par minute**
- **Régime 1000 tours par minute**
- **Régime 1400 tours par minute**
- **Régime « proportionnel à l'avancement »**

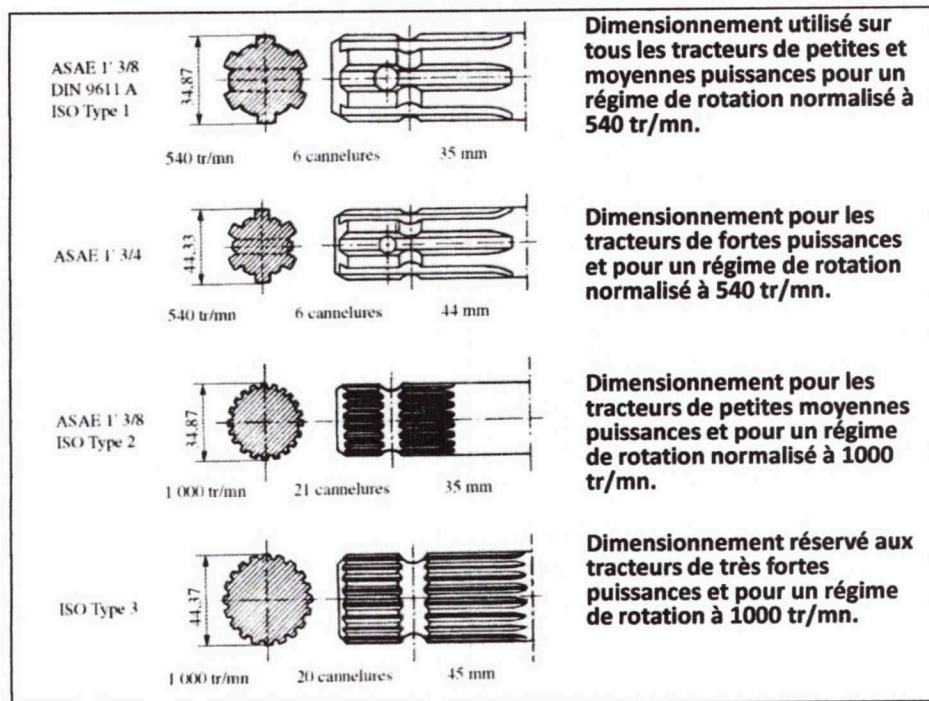


Figure 2.23 : Différentes types de prise de force





2.2.11 Le report de charge

En position statique, un tracteur n'a pas une répartition égale de son poids sur les essieux moteurs Exemple pour un tracteur de 85 Ch. dont le poids maximum lesté est de 4450 kg (poids à vide 3900 kg + masses avant 400 kg + masses arrière 150 kg):

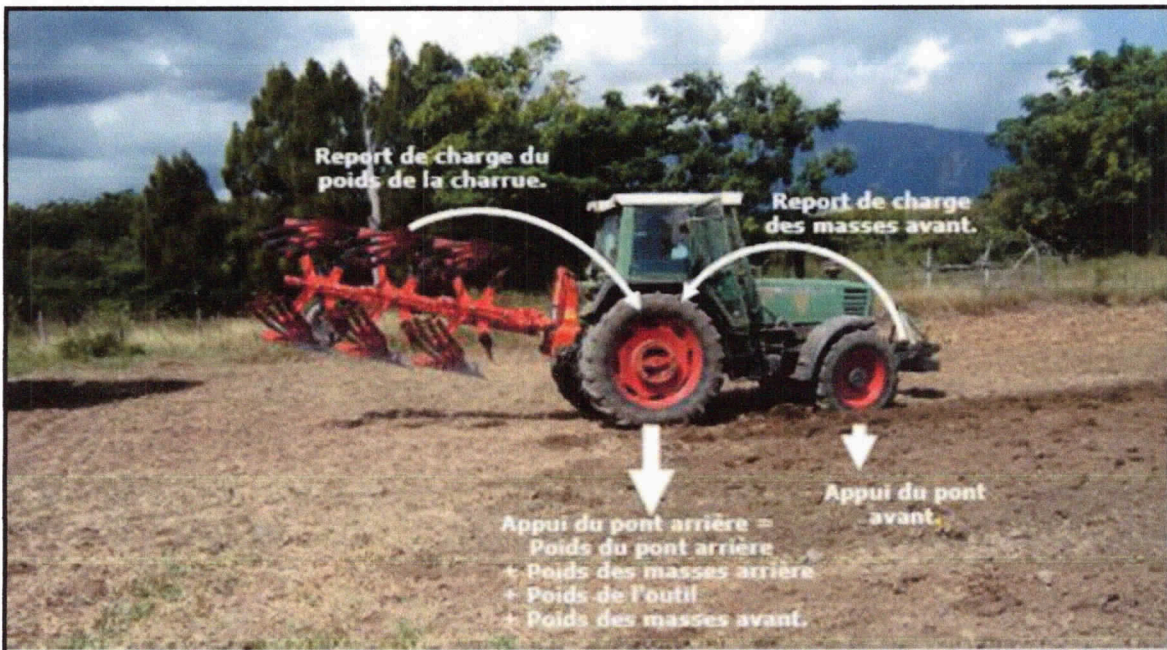


Figure 2.24 : Report de charge sur un attelage porté



Au travail ce même tracteur, aura la capacité de transférer une partie de son poids avant sur l'essieu arrière (jusqu'à 80 %) pour améliorer l'ancrage du tracteur au sol c'est-à-dire son adhérence: *c'est le report de charge*. Ce transfert de poids est fondamental pour utiliser pleinement sa capacité de traction (ou effort de traction), d'où l'importance du lestage et du réglage de l'attelage des outils.

Il existe une règle de base en matière d'effort de traction:

Un tracteur ne peut fournir un effort de traction supérieur à la valeur de son poids en ordre de marche.

Le poids en ordre de marche correspond au poids du tracteur additionné des masses d'alourdissement et du poids de l'outil qu'il porte et contrôle. Ainsi les outils traînés (pulvérisateur à disques autoporté, semoir semis direct,...) n'exercent aucun report de charge sur le tracteur, contrairement à une charrue à socs par exemple, qui est portée et dont la profondeur de travail est contrôlée par le relevage hydraulique.

Pratiquement, l'effort de traction ne dépasse pas 60% du poids total du tracteur augmenté des reports de charges (outil et masses d'alourdissement). Un tracteur d'un poids en ordre de marche de 4 tonnes pourra rarement exercer un effort de traction, sur un terrain agricole, de plus de 2,5 tonnes.

Sachant que l'effort de traction est directement lié au poids du tracteur attelé, il devient donc aisé de trouver le poids optimum de l'attelage: *le poids adhérent (ou encore appelé le rapport poids/puissance)*.

Ce poids adhérent se calcule en fonction de la puissance du moteur exprimée en chevaux à la norme ECE R24 qui est la référence pour les tracteurs agricoles. L'unité du poids adhérent devient donc *le kilogramme par cheval (kg/Ch.)*. C'est lui qui augmentera le coefficient d'adhérence du tracteur, pour lui assurer une meilleure traction sans qu'il soit nécessaire de ralentir la vitesse ni même d'augmenter la puissance de base du tracteur. Plus les efforts de traction demandés sont importants plus le poids adhérent devra être élevé. Cependant, pour des raisons de préservation des systèmes mécaniques de la transmission (boîte de vitesses, ponts et réducteurs), la valeur du poids adhérent ne devra pas dépasser 55 kg/Ch.

2.3 Les pneumatiques agricoles

2.3.1 Généralités

Le matériel d'une exploitation n'a de raison d'exister que s'il peut se déplacer sur les champs, sur les routes et sur les chemins.

La résistance du sol à la pénétration de la charrue s'oppose à l'avancement du tracteur. Le binage ou les traitements phytosanitaires en cours de végétation ne peuvent se faire que dans d'étroites limites de passage. Ces deux exemples démontrent ainsi que travail de traction et déplacement ne sont pas naturellement compatibles:



→ Le relief et la structure du sol sont des données imposées à l'agriculteur sans qu'il puisse les modifier dans le seul but de faciliter la locomotion.

→ Tous les travaux du sol augmentent la porosité du sol et sont donc défavorables à la traficabilité.

→ L'état du sol, les conditions climatiques et les nécessités du cycle de végétation, déterminent eux seuls les moments du travail. Les machines doivent se conformer à ces exigences sans dépendre de la traficabilité du terrain; un champ n'est pas un simple support pour le passage des machines: c'est un ensemble complexe et fragile. Toute perturbation apportée à son équilibre peut avoir des répercussions importantes sur le rendement (incidences à court terme) mais aussi sur la fertilité (incidence à moyen long terme). Ainsi, le tassement est une des principales conséquences d'un mauvais choix de mode de roulement (dimension, pression,...) ou de son utilisation (vitesse, lestage,...).

→ Enfin, l'exploitant passe de nombreuses heures sur les machines, un confort suffisant doit lui être donc assuré; le tassement de la colonne vertébrale est une maladie professionnelle très répandue chez les agriculteurs. Même si de nos jours les cabines et les sièges des tracteurs sont de bien meilleure qualité, les pneumatiques font partie des éléments qui amortissent vibrations et secousses.

En conséquence, le choix des pneumatiques pour les tracteurs et machines agricoles devra tenir compte des nécessités suivantes:

→ Supporter les charges qui lui sont imposées aux vitesses d'utilisations sur route ou sur champ.

→ Avoir des caractéristiques dimensionnelles permettant le passage sur les cultures en végétation, tout en préservant la stabilité du matériel.

→ Procurer pour tous les travaux, en toutes conditions de relief et de l'état du sol, l'adhérence nécessaire à l'avancement.

→ Limiter par sa faible pression au sol et l'ensemble de son comportement les détériorations des terrains de culture.

→ Faciliter par son aptitude à transmettre les efforts du moteur, ainsi que par sa durée une gestion économique de l'exploitation.

→ Contribuer au confort, à la sécurité et au bon état de santé du conducteur tout en aidant à préserver la machine.

2.3.2 Caractéristiques et dimensions du pneu agricole.

Il existe de nombreux type de pneumatiques agricoles ayant chacun une application particulière, c'est pourquoi il est assez difficile de trouver le bon type de pneumatiques





tant les applications du tracteur, des automoteurs et de matériels de transport sont nombreuses:

→ Les pneus "tracteurs" utilisé sur les roues motrices des tracteurs et des engins automoteur

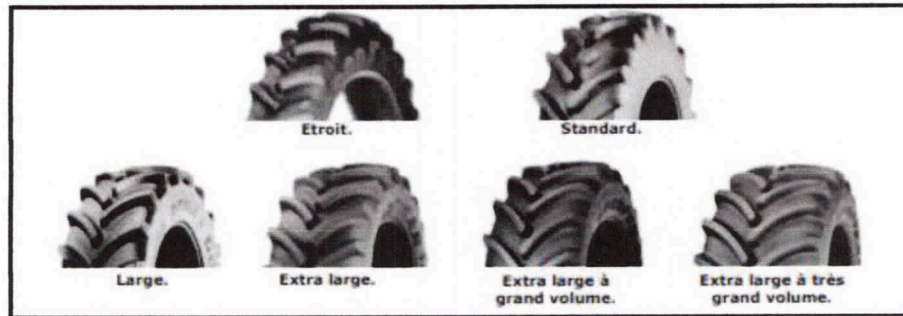
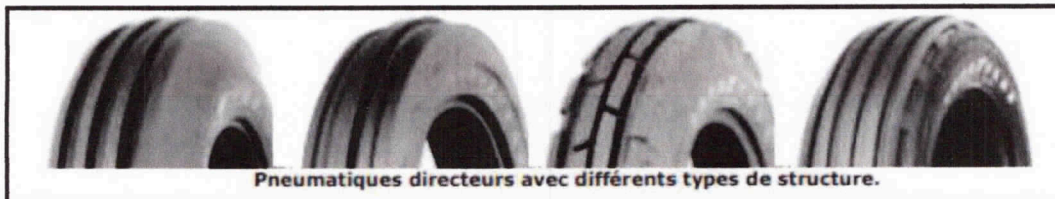


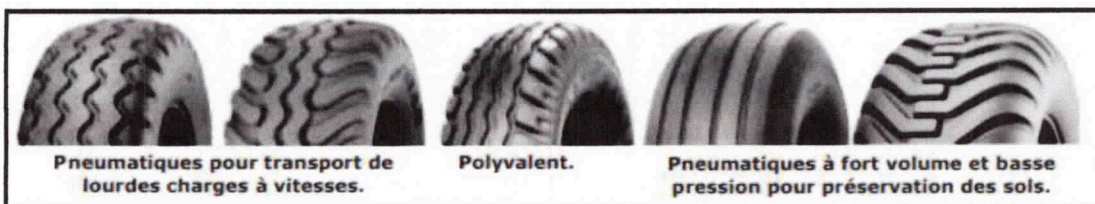
Figure 2.25 : Pneus des roues motrices

→ Les pneus "directeurs" utilisé sur l'essieu directeur des tracteurs ou automotrice à deux roues motrice



Pneumatiques directeurs avec différents types de structure.


→ Les pneus "porteurs" utilisés sur tous les matériels de transport agricole.



Le choix d'un type de pneumatique consiste donc à trouver un bon compromis pour une utilisation aux champs (adhérence, dimensions) et lors des transports sur route comme au champ (capacité de charge, résistance au roulement, pression au sol,...).

Les caractéristiques d'un pneumatique agricole sont définies par une série de marquage sur ses flancs, exemple sur un pneu de marque MICHELIN:



XeBib: Gamme du pneu.
VF (very high flexion): Préfixe désignant une catégorie de pneu.
650: Section nominale du pneu en mm
60: Rapport hauteur flanc/ section nominale du pneu.
R: Carcasse du type radiale.
38: Diamètre nominal de la jante en pouce (1 pouce = 2,54 cm).
155: Indice de capacité de charge à une pression de référence de 1,6 bars ou kg/cm² (pour ce pneumatique 155 = 3875 kg).
D: Code de vitesse (pour ce pneumatique 65 = 65 km/h).
Tubeless: Pneumatique monté sans chambre à air.

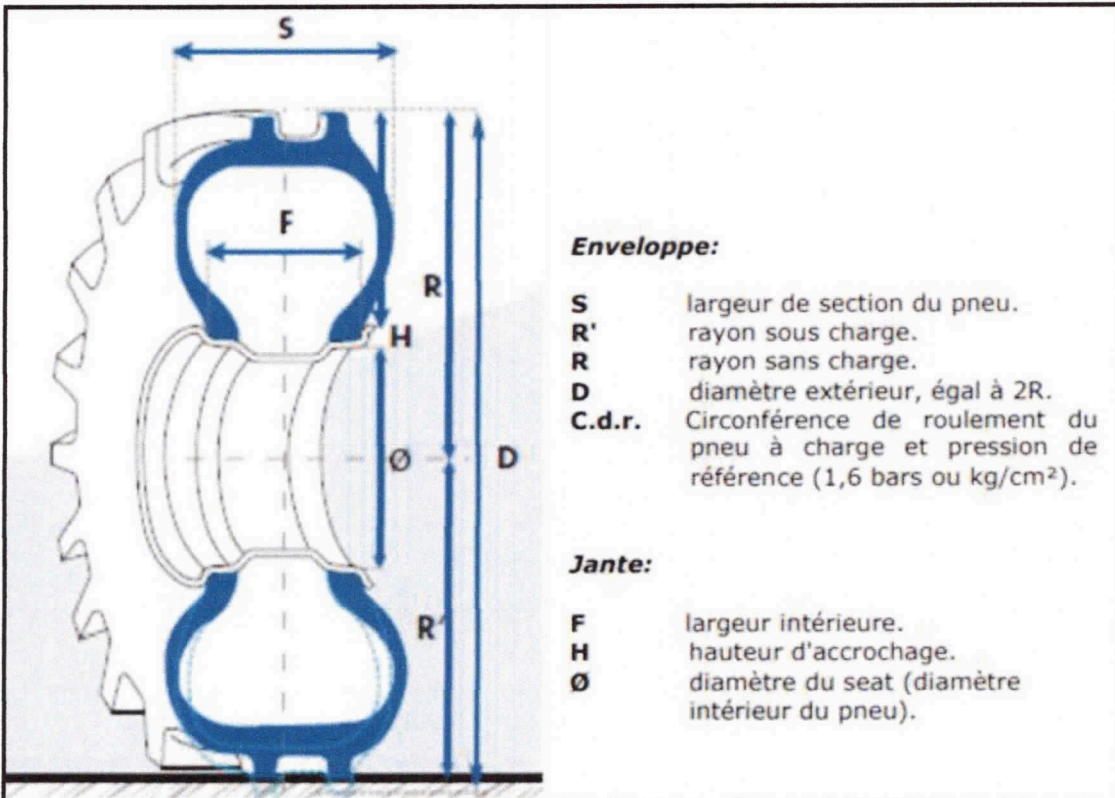


Figure 2.26 : Cote dimensionnelles d'une enveloppe et de la jante

3 Les tracteurs spécialisés

On distingue classiquement les tracteurs conventionnels, mais on distingue aussi d'autres type de tracteurs : **les porte-outils**, **les tracteurs articulés**, **les chenillards** et enfin **les tracteurs spécialisés**, tels que **les tracteurs étroits** et **les enjambeurs** utilisés en arboriculture, horticulture et viticulture...





Figure 2.27 : Les tracteurs spécialisés

4 Des informations concernant les tracteurs

Le choix de la puissance est déterminée par la taille de l'exploitation et la nature des travaux à effectuer : des tracteurs de puissance inférieure à 140 Ch sont suffisants pour des exploitations de taille moyenne, alors que les grandes étendues exigent des tracteurs très puissants (autour de 200 Ch). Les tracteurs de plus de 300 Ch sont quant à eux peu commercialisés et leur usage est réservé à des travaux très lourds.



Figure 2.28 : Schéma général du tracteur agricole



Chapitre 03 : Matériel de travail du sol

1 Rôle et objectifs du travail du sol

Le rôle essentiel du travail du sol est d'obtenir un état du sol favorable à la mise en place des cultures et à leur **développement racinaire**. Il permet l'entretien du sol et la réorganisation de sa structure en vue d'accueillir une nouvelle culture, dans **les meilleures conditions agronomiques et économiques**.

La préparation du sol doit permettre d'obtenir une **répartition régulière des semences** sur le sol, un enfouissement à une profondeur convenable pour les mettre à l'abri des animaux granivores et un placement, au printemps ou en été, au contact d'une terre suffisamment humide favorisant leur germination; dans ce cas la, sauf si l'humidité est excessive, il faut que les préparations du sol permettent, après semis, le contact de la graine avec une portion de terre rassise ou tassée dans laquelle les mouvements de l'eau se feront aisément.

Le travail du sol permet de conserver et d'accroître la **porosité** du sol et d'améliorer la **perméabilité** de la couche travaillée. Il peut en effet aboutir à la fois à une augmentation de la **percolation**, c'est-à-dire de la descente de l'eau en profondeur, ainsi qu'une amélioration de la **circulation latérale de l'eau**.

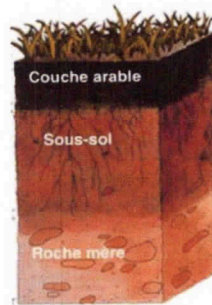
Le travail du sol permet d'obtenir une répartition et la mobilité des agrégats et particules du sol. Cette mobilité des agrégats les uns par rapport aux autres, favorise le **cheminement des racines** dans le sol, puisque leur extrémité exerce une pression qui peut déplacer les particules de terre.

Les actions de travail du sol visent, avec ou sans l'appoint des agents climatiques, à ameublir la couche arable et le **lit des semences**. Cette action, en apparence très banale, désigne les opérations mécaniques qui permettent à l'agriculteur d'atteindre, plus au moins, chacun des dix objectifs suivants:

- l'enfouissement des débris végétaux et des résidus superficiels,



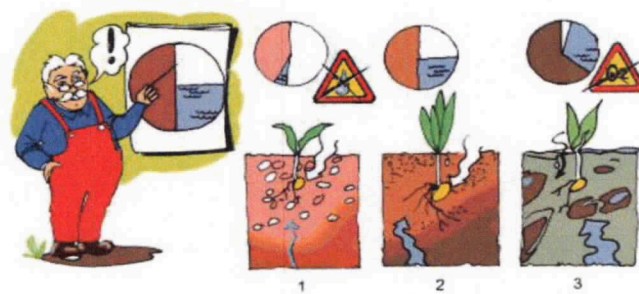
➤ L'ameublissement de la couche arable



➤ Le réchauffement du sol

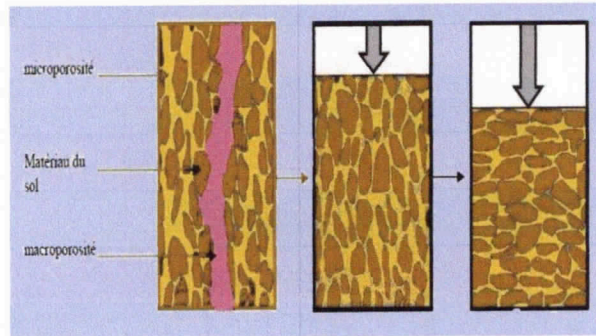


➤ La formation de lit de semence



➤ La correction de la porosité du sol





- La répartition de la terre fine et des mottes
- Le nivellement du sol
- L'ameublissement du sol au dessus de la zone labourés
- La maîtrise de la propagation des mauvaises herbes, des parasites et des maladies
- L'incorporation des amendements et des fertilisants.

Les priorités dans les **objectifs de travail du sol** varient selon les circonstances et les façons culturales choisies: terres de texture différente, plus ou moins humides, plus ou moins riches en éléments minéraux nutritifs, cultures plus ou moins envahies de mauvaises herbes, plus ou moins sensibles au développement des maladies ou des attaques d'insectes. Le climat est aussi un facteur déterminant, ainsi que le choix des **rotations culturales**.

2 Présentation des techniques culturales pour la mise en place des céréales

Il existe une très grande diversité de techniques de travail du sol sans labour, c'est-à-dire sans retournement des premiers horizons du sol. Ainsi, on peut trouver tous les intermédiaires possibles depuis le labour au semis direct, en passant par le pseudo labour, le décompactage ou encore les TCS (techniques culturales simplifiées).

Avant de présenter les techniques culturales, nous commencerons par définir les nombreux termes impliqués dans ce sujet qui prêtent à confusion

TCS, TSL ou AC ?

La définition elle-même des TCS est souvent imparfaitement précise: il existe en effet de nombreux stades intermédiaires ou itinéraires techniques, entre le travail du sol incluant un labour classique et le semis-direct. Les termes existants sont nombreux et parfois redondants.

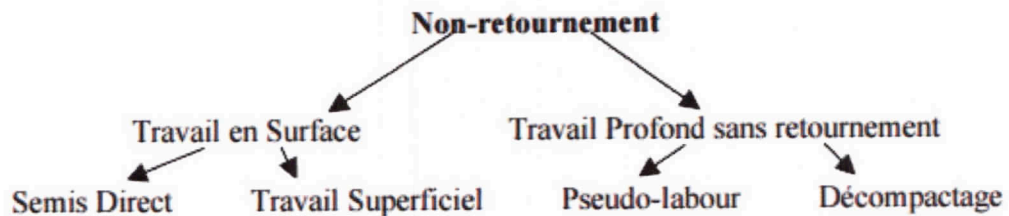
Les principaux termes qui peuvent prêter à confusion sont TCS (**Techniques Culturales Simplifiées**), TSL (**Techniques Sans Labour**) et AC (**Agriculture de**





Conservation). Pour compliquer le tout, les termes anglophones sont également nombreux avec ‘**Conservation Tillage**’, ‘**Conservation Agriculture**’, ‘**Sustainable Agriculture**’, ou encore ‘**No-Till Agriculture**’. Nous allons redéfinir ici ces différents termes :

- **Techniques Culturelles Simplifiées (TCS) et Techniques Sans Labour (TSL) (No-Till Agriculture)** : Techniques sans retournement du sol. Certains préfèrent utiliser le terme TSL car le terme TCS est souvent associé non seulement au non-retournement du sol, mais également à une couverture du sol. De plus, « l’APAD, 2001 » vient d’ajouter à la confusion en changeant la signification de TCS à ‘Techniques de Conservation des Sols’. Enfin, si ce n’était pas suffisant, le terme ‘simplifiées’ prête à confusion car les TCS demandent au contraire des techniques et des connaissances plus pointues. Ces techniques sont diverses mais peuvent toutefois être classées en 4 groupes comme suit :



- **Semis direct** : Maintien d’un travail mécanique seulement sur la ligne de semis.
- **Travail superficiel** : Maintien d’un travail mécanique en dessous de la zone de semis sur une profondeur limitée selon les conditions du milieu (entre 5 et 10cm).
- **Pseudo-labour** : Le sol est travaillé au plus sur les 20 premiers cm, c’est à dire sur les horizons superficiels, sur l’ensemble de la surface.
- **Décompactage** : Fissuration du sol sans mélange des couches.
- **Agriculture de Conservation (AC) (Conservation Agriculture)** : Le terme « Agriculture de Conservation » (des sols) est le terme à employer internationalement. Sa définition a été retenue lors du "First World Congress on Conservation Agriculture : a world wide challenge" qui se déroulait à Madrid en octobre 2001.

Cette définition est la suivante :

- Absence de retournement profond du sol et implantation des cultures en semis direct
- Maintien d'un couvert végétal permanent (mort ou vivant)



- Adoption judicieuse de cultures dans une rotation suffisamment longue (rotation adaptée).

En d'autre terme, l'agriculture de conservation a pour objectif de conserver, d'améliorer et de mieux utiliser les ressources naturelles liées à la gestion des sols, de l'eau, et de l'activité biologique. L'AC n'est pas un but en elle-même mais plutôt un concept : la gestion de la fertilité des sols est l'objectif final.

Conservation Tillage : Les résidus de la récolte représentent au moins 30 % de la surface du sol. Le semis direct, les cultures sur billons et les cultures sous mulch appartiennent à cette catégorie.

- **Sustainable Agriculture (Agriculture Durable):** L'Agriculture Durable est un des aspects du Développement Durable. Le concept couvert par « sustainable agriculture » dans les pays anglophones se traduirait plutôt par « agriculture intégrée » en Europe. La première définition de l'agriculture intégrée a été proposée en 1977 par des zoologistes et des agronomes à partir de leur expérience de lutte intégrée en vergers. Selon eux, l'agriculture intégrée est « un mode de production comportant la mise en œuvre des techniques les plus conformes à des exigences d'ordre économique et écologique dans la perspective d'optimiser la qualité des produits qui en sont issus ».

Cette définition souligne 4 idées fortes correspondant à des modes de production

- Economiquement viables
- Respectueux de l'environnement et préservant les ressources naturelles
- Assurant la qualité des produits et limitant les risques pour la santé humaine
- Permettant une bonne intégration sociale des personnes intervenant dans le processus de production et de transformation.



2.1 Techniques de travail du sol profond

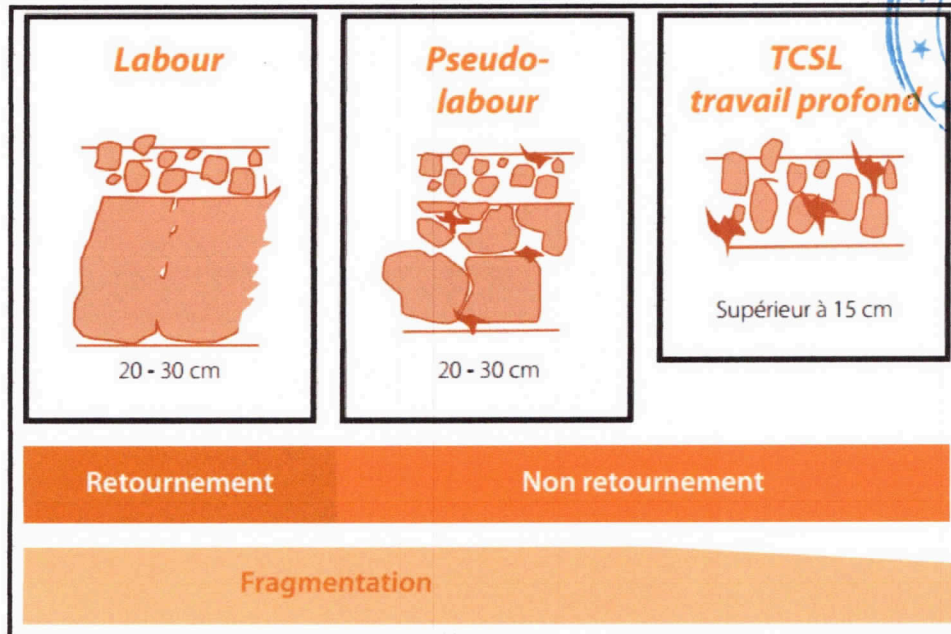





Figure 3.1: Présentation des techniques culturales de profondeur

Matériels utilisés		
La charrue	Cultivateur lourd	Chisel, Cover-crop
		
<p>Les itinéraires techniques sont basés sur l'usage de charrues à socs forcément associées à d'autres interventions.</p> <p>Opération de travail profond qui comporte un mélange et un retournement des couches de sol.</p>	<p>Plusieurs matériels sont possibles : cultivateurs lourds, chisel utilisé en profondeur...</p> <p>Opération de travail profond avec mélange des couches de sol mais sans retournement de celles-ci.</p>	<p>Les outils utilisés sont des lames droites ou obliques, équipées de différents types de socs.</p> <p>Opération de travail du sol sans retournement ni mélange. Cette opération restructure le sol par fissuration et fragmentation.</p>





2.2 Les techniques culturales superficielles

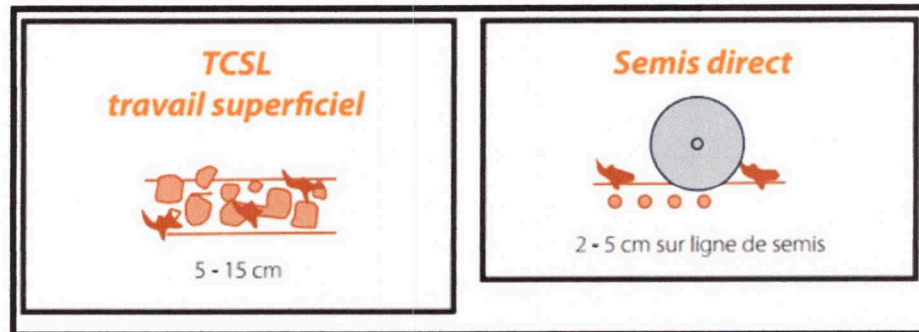


Figure 3.2 : Présentation des techniques culturales superficielles

Matériels spécifiques	
Association de disques et de dents avec un semoir	Semoir de semis direct
	
<p>Les matériels spécifiques sont une combinaison d'outils de déchaumage, animés ou non, couplés à des semoirs, ce qui permet de réaliser plusieurs objectifs en un seul passage..</p> <p><i>Opération de travail du sol permettant l'incorporation des résidus dans la couche travaillée et l'affinement du lit de semences.</i></p>	<p>Les matériels de semis direct sont en général lourds afin de pénétrer le sol. Ils sont équipés de dispositifs permettant de travailler le sol sur la ligne de semis, à une profondeur allant de 2-3 cm à 10 cm. Ce sont toujours des matériels spécifiques.</p> <p><i>Système d'implantation des cultures qui repose sur un travail du sol localisé sur la ligne de semis, sans travail en profondeur.</i></p>





3 Place et importance des techniques culturales dans l'itinéraire technique

Tenant compte des objectifs cités ci-dessus, les techniques culturales occupent la première place dans l'itinéraire technique pour la mise en place des cultures d'une manière générale. Une mauvaise réalisation de la préparation du sol, entraîne plusieurs effets néfastes au développement du système racinaire, ce qui se répercute sur celui de la plante au cours de son cycle biologique. Une forte proportion de zones compactes dans les premiers horizons de la couche arable pouvait diminuer l'absorption d'azote de 30 % environ, le nombre de grains par mètre carré et les rendements des céréales de 15 à 20 % environ. Ce phénomène est généralement associé à une faible densité racinaire dans ces horizons où la structure du sol est défavorable.

Par contre, dans le cas d'une porosité trop élevée, les échanges, entre les racines et le sol seront difficiles, ce qui affectera le développement de la plante dans son ensemble car les racines, en mauvais contact avec le sol, trouveraient des difficultés pour puiser les éléments nutritifs.

Au vu de ces remarques, la réalisation de ces opérations de préparation du sol doit faire l'objet d'une attention très particulière. L'importance de cette première étape de l'itinéraire technique pour la mise en place d'une culture, réside aussi au niveau du temps et du moment de sa réalisation et donc de la consommation en carburant. En effet, la réalisation des labours par exemple est conditionnée par les facteurs climatologiques, tel que la chute des premières pluies et surtout de intensités de celles-ci.

4 Aperçu historique et état actuel des techniques culturales simplifiées

Les premiers systèmes de culture en semis direct sont américains. Aux Etats-Unis, les années 1930 sont marquées par une crise économique et agricole majeure. Dans les Grandes Plaines, une mauvaise gestion agricole du sol, un travail du sol profond et répété, concomitante à des épisodes de sécheresse entraîne des pertes de terres cultivées par érosion éolienne, le *Dust Bowl*.

Dès 1935, les pouvoirs publics prennent conscience de certains effets néfastes du labour et déclarent que l'érosion est une menace nationale. Le gouvernement établit alors le *Soil Conservation Act*, instaure le *Soil Conservation Service* au sein de l'United States Department of Agriculture (USDA) et met en place des mesures de conservation du sol. Parmi les solutions proposées émerge une technique culturale qui consiste à travailler le sol superficiellement pour y maintenir des résidus de récolte pendant la période d'interculture. Les fondements de l'agriculture de conservation sont établis : un travail minimal du sol et sa couverture permanente par un paillis végétal.





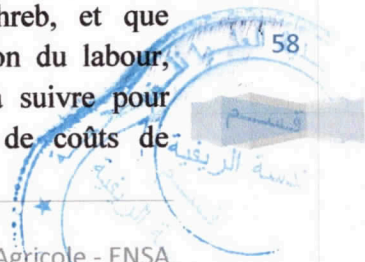
Dans les années 1960, la diffusion de l'herbicide total Paraquat et la construction de semoirs adaptés accélèrent l'essor de l'agriculture de conservation.

En 2000, plus de 35 % de la sole nationale est cultivée selon les principes de cette agriculture. L'expérience nord-américaine s'étend hors des frontières du pays. La technique élaborée aux Etats-Unis se répand au Canada et surtout au Brésil qui connaît à la fin des années 1960 d'importants problèmes d'érosion hydrique. Comme les conditions pédoclimatiques du Brésil diffèrent fortement de celles des Etats-Unis, la recherche agronomique est sollicitée pour adapter la technique américaine au contexte brésilien et pour élaborer de nouvelles modalités de culture.

Historiquement, les premiers pas du Semis Direct (SD) dans les pays du Maghreb remontent aux années 1970-1980, lorsque des essais ont été réalisés par les structures de recherche publiques avec des semoirs américains (du type Tye) importés pour l'expérimentation. Cette approche semble avoir été abandonnée par la suite, sauf au niveau d'essais en station menés par l'INRA du Maroc.

Le véritable « démarrage » d'actions concrètes centrées sur une démarche d'Agriculture de Conservation (AC) se situe à la fin des années 1990 avec, d'une part, le programme de création du « prototype marocain » de semoir SD initié par l'INRA de Settat (Maroc), et d'autre part, le programme « Agro-écologie et Semis Direct » mis en place en Tunisie. Le début d'une véritable implication concrète des agriculteurs dans ces démarches remonte donc, globalement, à cette période. Du fait de sa présence au Maghreb depuis 1985, en tant qu'ONG (organisation non gouvernementale) axée sur l'organisation professionnelle des agriculteurs, FERT (Association de coopération internationale pour le développement rural) a pu disposer d'une bonne connaissance du milieu agro-climatique et des problématiques rencontrées par les paysans algériens, marocains et tunisiens. Le Réseau Grandes Cultures Méditerranéen (RCM) animé par FERT depuis 15 ans a constitué, dans ce contexte, une plateforme de rencontres et d'échanges entre des structures de Recherche Agronomique et des Groupes Témoins d'Agriculteurs mis en place progressivement par le RCM dans ces pays. Son but a été de faciliter les relations entre ces partenaires afin d'apporter des réponses pratiques aux attentes technico-économiques des agriculteurs, qui sont généralement aussi des éleveurs d'ovins, et dont l'assolement est basé sur les céréales, les légumineuses et les fourrages.

A la fin des années 1990, les Groupes informels du réseau s'interrogeaient déjà sur leurs itinéraires techniques et leurs coûts de production, dans un contexte où les sécheresses se répétaient et où la rentabilité déjà limitée de leurs productions pouvait être remise en cause par la libéralisation du secteur céréalier. Ils se sont alors intéressés à ces « nouvelles approches » dont parlaient quelques chercheurs au Maghreb, et que pratiquaient déjà de nombreux agriculteurs de par le monde : abandon du labour, techniques culturales simplifiées (TCS) et semis direct ; des pistes à suivre pour répondre localement à des problèmes d'économie d'eau, d'érosion, de coûts de mécanisation...





5 Le labour

Le labour constitue une séquence très importante dans la série des travaux effectués. Il consiste à découper successivement toute la terre à travailler en **bandes** qui sont retournées plus ou moins complètement, de façon à ce que leur partie inférieure soit ramenées à la surface, ameublie et soumise ainsi à l'action des agents atmosphériques et des outils de reprise: par la même opération, la végétation de surface est enterrée.

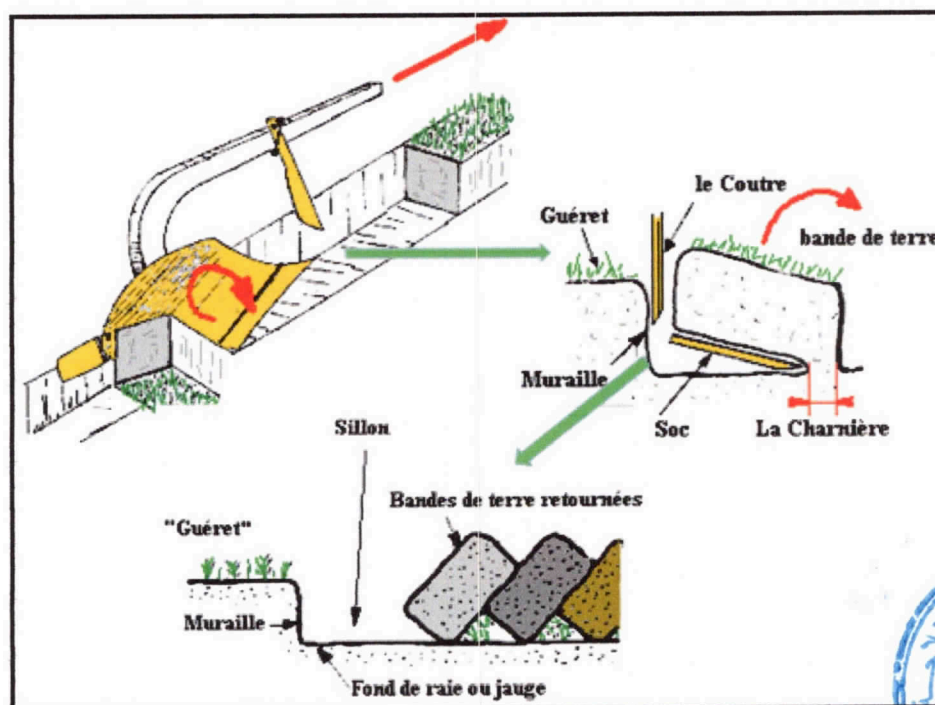
L'exécution du labour mobilise une part non négligeable du temps et des moyens de traction dont dispose l'agriculteur ; il pose avec acuité le problème de l'adhérence du tracteur à roues.

La qualité du labour dépend des caractéristiques du sol, de son état et des versoirs utilisés; elle a une influence directe sur la facilité d'exécution des travaux de préparation superficielle du sol qui font suite au labour et une certaine influence sur le rendement des récoltes ultérieures.

5.1 Le principe du labour:

Le principe du labour est de découper une bande de terre de section rectangulaire verticalement par un coutre et horizontalement par le soc, de la soulever par le soc et la partie antérieure du versoir. Le long de la partie postérieure du versoir, elle subit une rotation et un déport latéral qui l'amène en appui sur la bande précédemment retournée.

La rasette découpe en surface un petit volume de sol qui, projeté en fond de raie avant le passage du corps principal, se retrouve sous la bande retournée par le versoir. Suivant son type et sa position, la rasette permet ainsi d'enfouir plus ou moins profondément les résidus organiques et les mauvaises herbes.



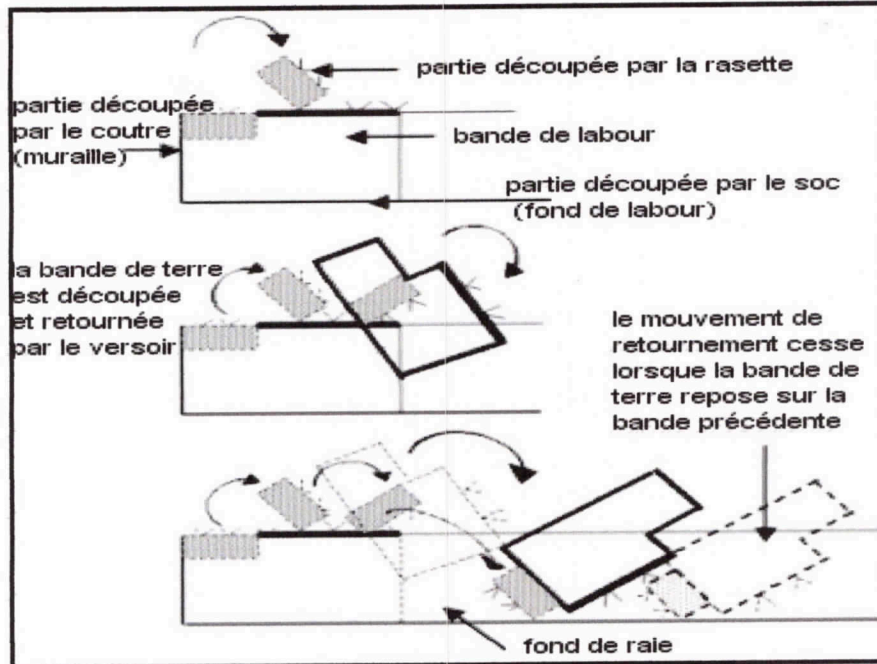


Figure 3.3 : Principe du labour

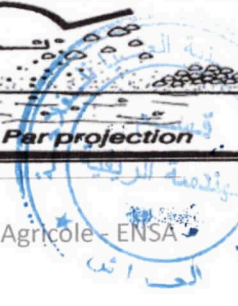
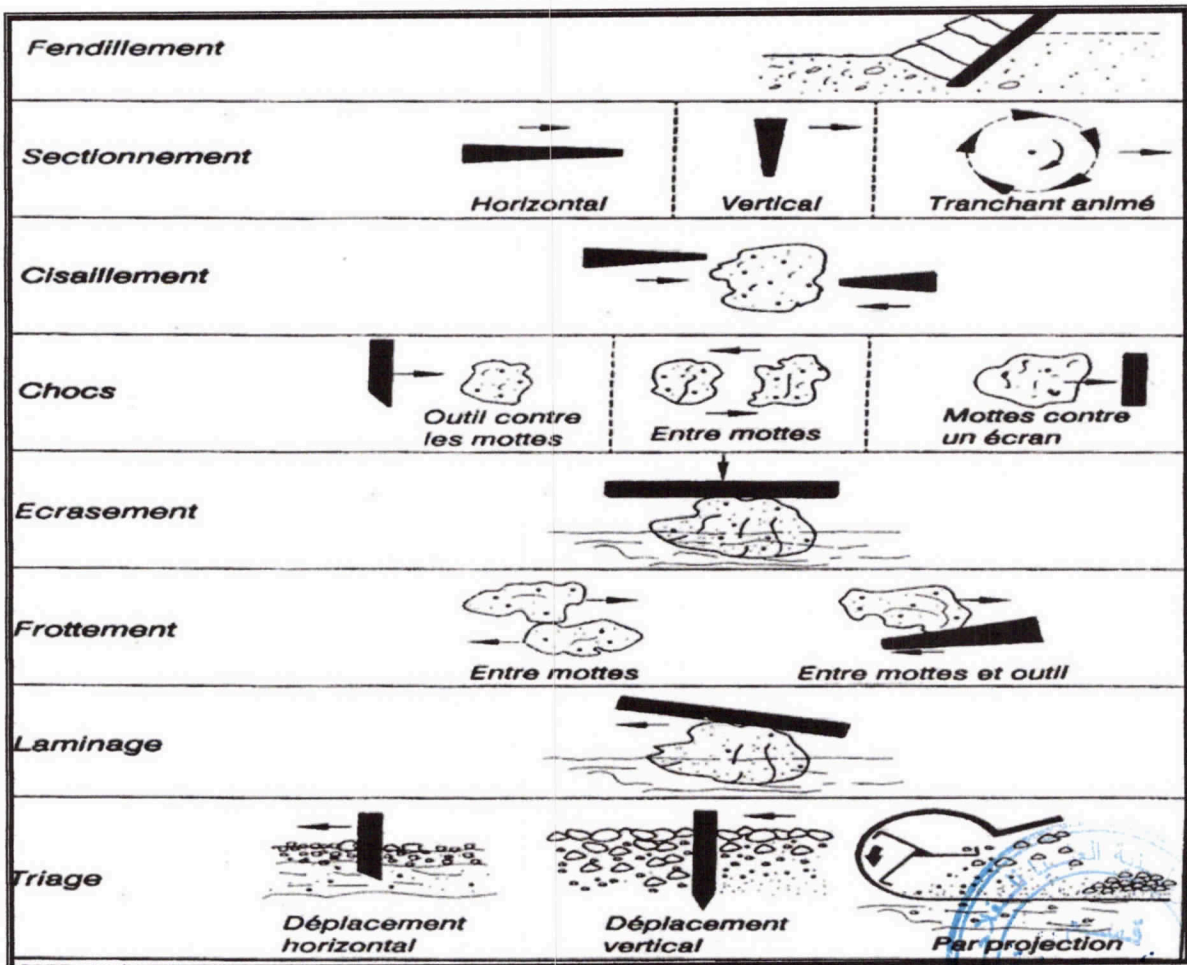




Figure 3.4 : Les différents modes d'actions des outils

5.2 Les organes constitutifs de la charrue à soc

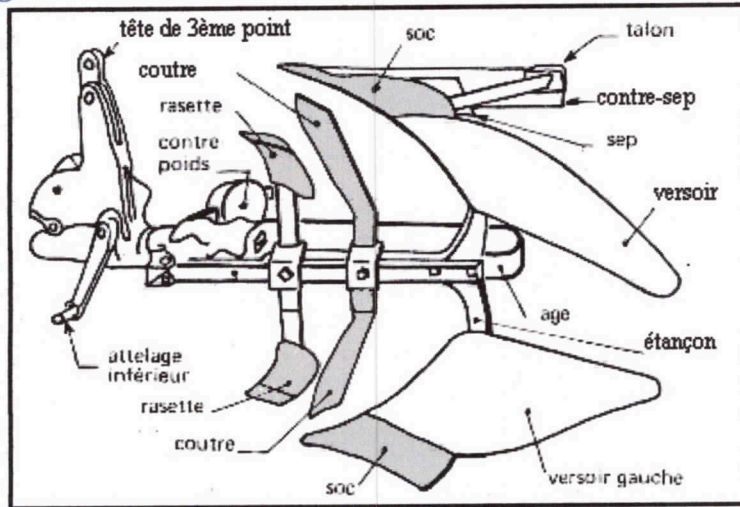


Figure 3.5 : Charrue à soc réversible

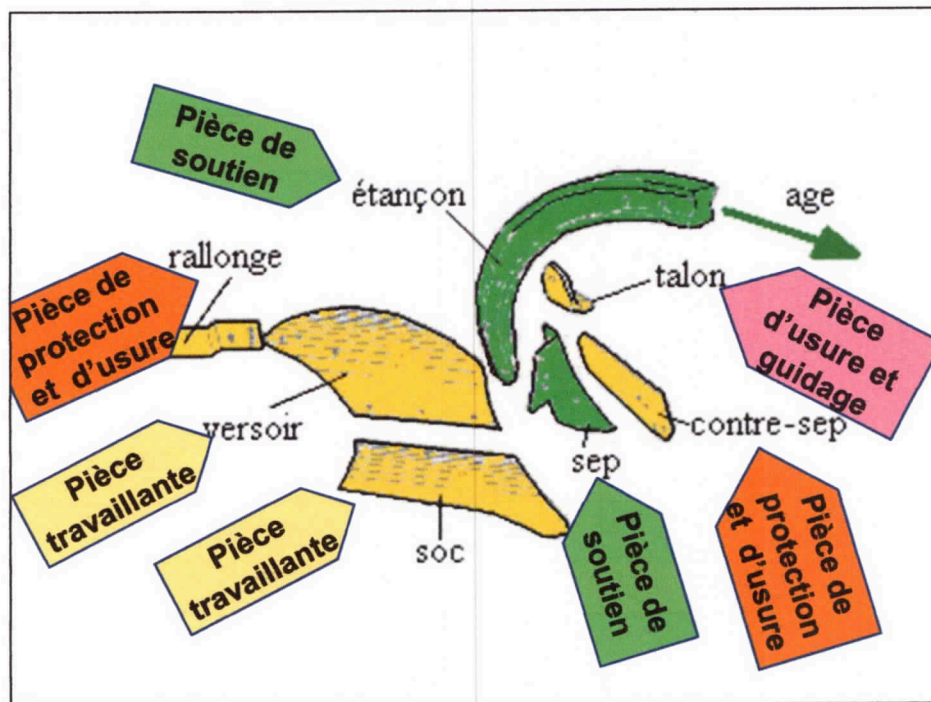
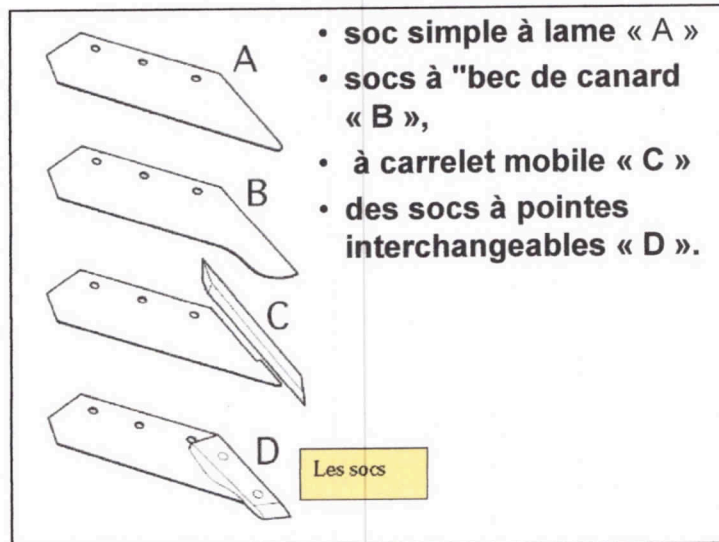


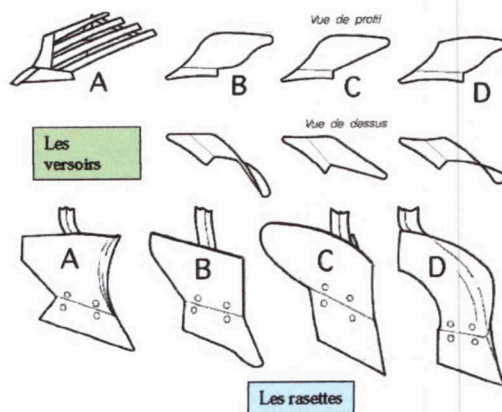
Figure 3.6 : Vue éclatée d'une Charrue à soc





- soc simple à lame « A »
- socs à "bec de canard" « B »,
- à carrelet mobile « C »
- des socs à pointes interchangeables « D ».

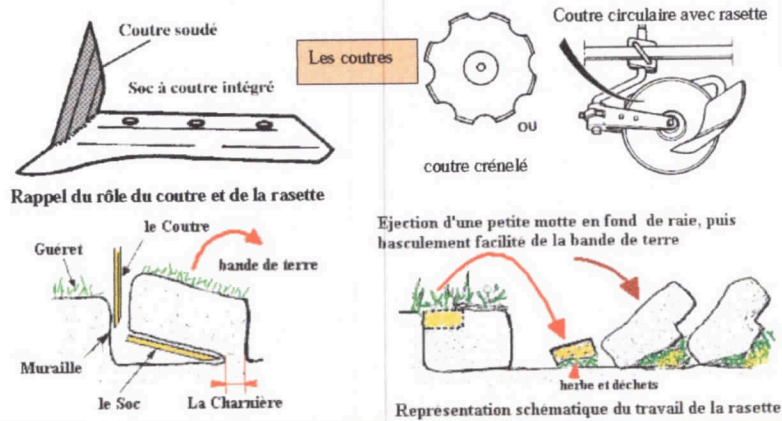
Figure 3.7 : Les différents types de socs



- versoirs cylindriques « C » et parfois à claires-voies « A ».
- il existe aussi des versoirs hélicoïdaux « B » et cylindro-hélicoïdaux « D ».

rasettes droites ou polyvalentes « A ». il existe aussi des rasettes droites B, à maïs C, à fumier D...





- coutres droits et donc parfois des coutres soudés sur le soc.
- il existe aussi des coutres circulaires lisses ou crénelés.

5.3 Les différents types de charrue à soc

5.3.1 Classification selon le type de labour

Le type de labour réalisé dépend de la charrue utilisée :

- **Les charrues simples** versent toujours les bandes de terre du même côté par rapport au sens d'avancement du tracteur. Deux largeurs de travail successives sont alors séparées par un ados ou par une dérayure : on parle alors de labour en planches. Les charrues simples ne sont plus guère utilisées qu'exceptionnellement. Elles nécessitent en effet de longs déplacements pour permettre au tracteur de tourner autour de la planche.
- **Les charrues réversibles, les charrues à corps pivotant, ou les charrues quart de tour** offrent la possibilité de verser la bande de terre alternativement d'un côté ou de l'autre de l'axe d'avancement du tracteur, qui peut ainsi adosser toutes les bandes d'un même côté : on parle de labour à plat. Les systèmes d'attelage permettant de labourer hors raie (c'est à dire avec les quatre roues du tracteur circulant sur la partie non encore labourée, le guéret), sont peu répandus. Très généralement, lors du labour, les roues de l'un des deux côtés circulent sur le fond de raie, la tracter se trouvant ainsi incliné.

5.3.1.1 Les différents types de labour

Le labour en planche : il s'effectue en versant la terre toujours du même côté par rapport au sens d'avancement en adossant ou en refendant avec une charrue simple.



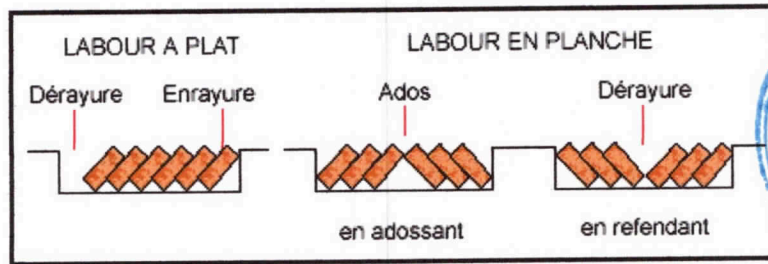


Figure 3.8 : Les types de labour

Le labour à plat: la charrue réversible verse la terre à droite puis à gauche par rapport à l'avancement, de manière à labourer sans discontinuité, du bord d'un champ à l'autre, en donnant au labour un aspect plat, d'un seul tenant et sans dérayures, sauf en fin de travail.

On peut aussi distinguer les charrues par leur mode d'attelage :

- o **les charrues semi-portées** sont attelées sur des barres de traction du relevage et reposent au sol par l'intermédiaire d'une ou deux roues. La tête d'attelage est parfois articulée, ce qui facilite les manœuvres.
- o **Charrue portée**
- o **Charrue trainée**
- o **Les charrues avant**, réversibles, sont placées devant le tracteur grâce à une tête d'attelage modifiée. Cela permet une meilleure utilisation de la puissance du tracteur lorsque celui-ci est à quatre roues motrices. Cependant, rendant difficile la circulation sur route, ces charrues n'ont pas remporté un grand succès.
- o Enfin, il existe différents types de **charrues à versoirs**, spécialisées pour des usages particuliers :
- o **Les charrues vigneronnes** : le travail du sol étant rendu difficile par la présence des ceps, et la nécessité de chausser ou de déchausser régulièrement ces derniers, on conduit à concevoir des charrues équipées d'un *corps butteur central* composé de deux ensembles symétriques, comportant chacun un soc et un versoir, afin de rejeter la terre de part et d'autre, avant de terminer le labour par une dérayure centrale.
- o **Les charrues décavaillonneuses**. Le *cavaillon* est le nom donné à la bande de terre située entre les ceps. Pour le travailler, on a mis au point des charrues équipées de socs qui peuvent s'effacer en rencontrant un cep, puis reprendre leur place après.
- o **Les charrues butteuses** (dites aussi billonneuses, rigoleuses, fossoyeuses) sont conçues sur le même principe que les charrues vigneronnes, possédant un corps

butteur. Elles sont utilisées pour les cultures nécessitant la confection d'un billon (asperges, pommes de terre, taro...).

- o Les **charrues défonceuses** ont pour objectif de réaliser un travail très profond (0,4 à 0,8 m) pour préparer l'implantation d'une culture pérenne. Ces charrues sont équipées de versoirs cylindriques.
- o Les **charrues déchaumeuses** sont équipées à l'inverse de versoirs multiples de petites taille, afin de réaliser un labour très peu profond (10-15 cm) pour une opération de déchaumage.

5.3.2 Les angles caractéristiques des charrues à socs

5.3.2.1 L'angle d'entrure ou de piquage

Détermine la pénétration de la charrue dans le sol. Il est matérialisé par l'inclinaison verticale du plan de la lame de 20 à 25° par rapport au plan horizontal.

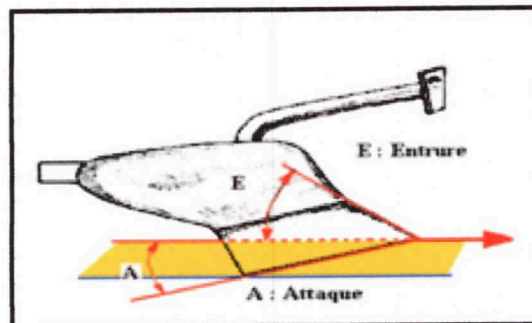


Figure 3.9 : Les angles caractéristiques du corps de charrue

L'entrure permet au corps de charrue de plus ou moins pénétrer le sol.

5.3.2.2 L'angle de coupe

Le plus facile à observer, l'angle de coupe, aussi appelé angle d'attaque, est l'angle aigu formé par le tranchant du soc avec la direction de l'avancement. Entre 30 et 40°. L'attaque permet le découpage d'une largeur de bande plus ou moins grande.

5.3.3 Réglages de la charrue à soc

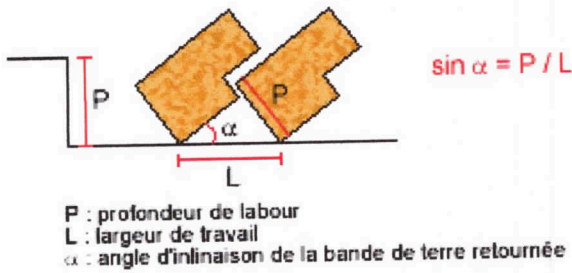
La charrue est un outil difficile à régler. En effet, dans le cas du labour dans la raie, le tracteur est incliné puisque deux de ses roues circulent en fond de raie, alors que la charrue doit rester parfaitement horizontale pour assurer une profondeur de travail régulière. D'autre part, la charrue est un instrument dissymétrique, qui doit travailler de manière rectiligne. Les réglages à faire avant de labourer portent (dans cet ordre) sur : la profondeur, l'aplomb, le talonnage et le dévers de pointe.

➤ 1^{er} réglage: la profondeur

Elle est déterminée par le laboureur qui la choisit en fonction de la largeur de travail. Du rapport profondeur sur largeur dépend le degré d'inclinaison de la bande de terre. A



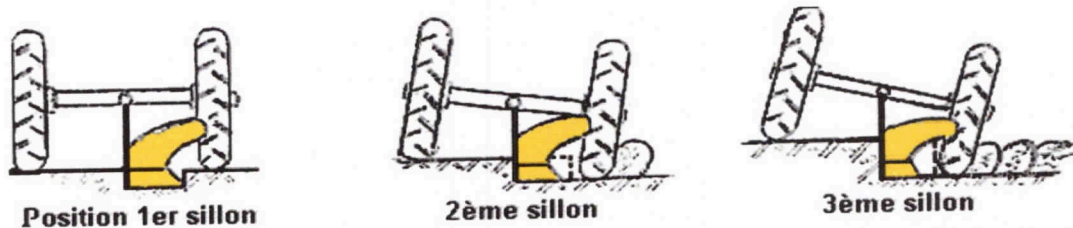
largeur égale de travail, le labour sera d'autant plus couché que la profondeur de travail sera faible.



Dans les charrues portées le réglage se fait par le mécanisme de relevage hydraulique
Dans les charrues polysocs (semi portées), en plus de relevage hydraulique une roue de jauge permet de contrôler la profondeur du ou des corps arrières de la charrue en roulant sur le guéret (charrue 3 corps et plus)

➤ **2ème réglage: l'aplomb**

L'aplomb doit être réglé de manière à ce que la charrue soit perpendiculaire au plan du sol, malgré l'inclinaison du tracteur. Le réglage se fait par les chandelles pour charrue simple et la position des butées pour charrue réversible.



Au premier sillon on part à plat, l'axe des roues est parallèle au sol	Au 2 ^{ème} sillon, la roue coté versoir est dans la raie précédente : il faut régler le corps	Au 3 ^{ème} sillon, si on travaille avec un brabant, il faut régler la charrue après retournement du corps.
--	--	---

➤ **3ème réglage: le talonnage**

Le talonnage est le réglage qui assure le parallélisme du bâti de la charrue avec la surface du sol.

Le réglage du talonnage détermine l'horizontalité de la profondeur de travail. La charrue doit s'appuyer modérément sur le fond de la raie, par l'intermédiaire du talon, pour avoir une bonne stabilité. Le réglage s'effectue en modifiant la longueur du bras supérieur de l'attelage trois point.





Figure 3.10 : Le talonnage

➤ 4^{ème} réglage: le dévers de pointe

Enfin, le **dévers de pointe** doit permettre à la charrue de travailler en ligne en compensant les efforts latéraux qui s'exercent sur l'outil.

Un dévers mal ajusté perturbe la direction du tracteur.

Le réglage du dévers de pointe consiste à aligner les **contre - sep parallèlement au sens d'avancement**. Sa modification se fait par une bielle à vis

➤ 5^{ème} réglage: le déport latéral

Le déport latéral : Il correspond au réglage de la **largeur de travail du 1^{er} corps**. Il est réglé par une vis sans fin (ou hydrauliquement) Il se fait **en alignant la pointe du 1^{er} soc avec le flanc intérieur du pneu**.

5.3.4 Le dispositif de sécurité des charrues à socs

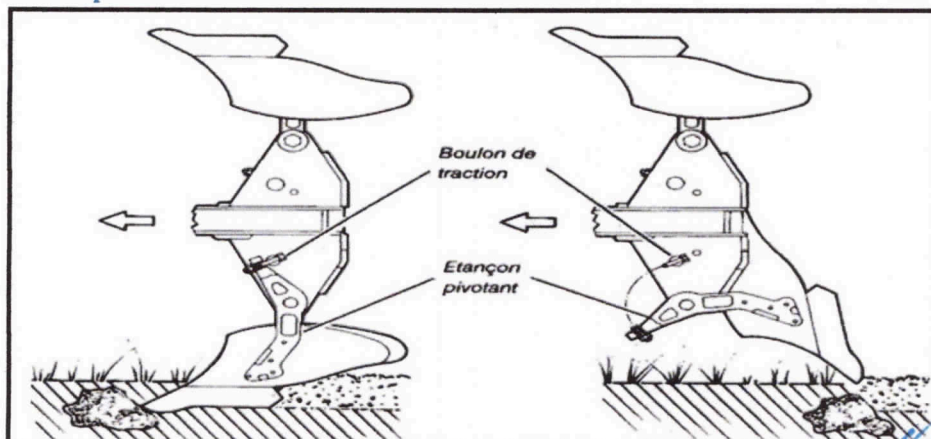


Figure 3.11 : Dispositif de sécurité par boulon de traction



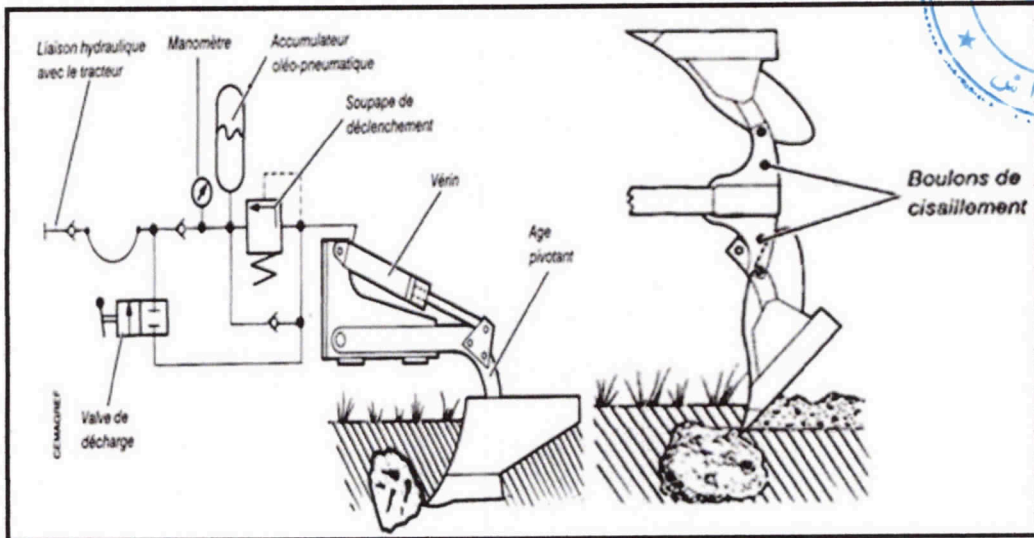


Figure 3.12 : Principe d'un dispositif de sécurité non-stop hydraulique et sécurité par boulon de cisaillement

5.4 La charrue à disque

Beaucoup moins répandue que la charrue à versoirs, la charrue à disques est utilisée dans les sols superficiels et caillouteux lorsque les conditions de travail du sol sont en général sèches. Utilisée principalement pour le défrichage et dans les régions aux climats tropicaux, arides et semi-arides, la charrue à disque pénètre bien dans le sol, même sec, mais enfouit mal les débris végétaux.



Figure 3.13 : Charrues à disques



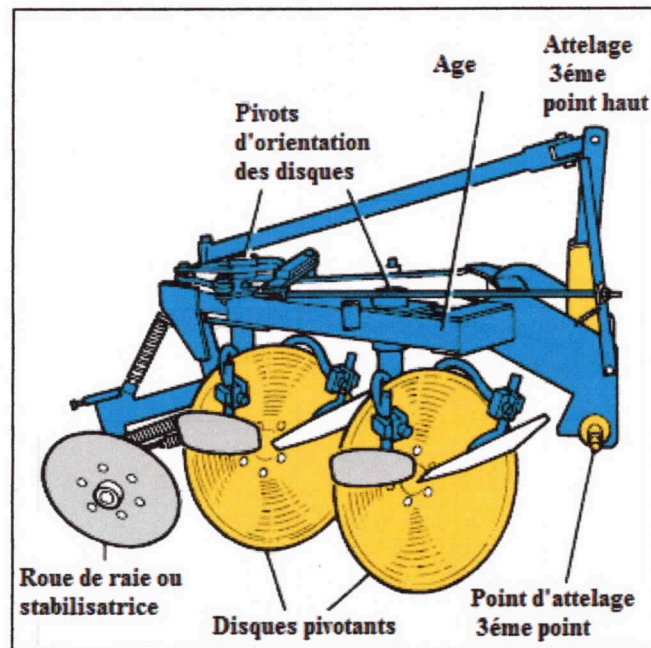


Figure 3.14 : Description d'une charrue à disque portée

Chaque corps de charrue est équipé d'une calotte sphérique appelée **disque**. Ce dernier découpe une bande de terre de section sensiblement **elliptique** et la retourne sous l'effet combiné de l'avancement, de l'auto-rotation et d'un **défecteur frontal** appelé "**versoir de disque**". Les charrues à disque sont en général équipées à l'arrière d'une **roue stabilisatrice tranchante et inclinée qui maintient la charrue en ligne**, compensant les forces latérales qui s'exercent sur l'outil. Le disque, fabriqué en acier traité pour résister aux chocs et à l'abrasion, a la forme d'une calotte sphérique de diamètre variant de **60 cm à 1 m**, la flèche pouvant aller jusqu'à 20 cm. Le bord du disque est en général biseauté pour améliorer l'efficacité de découpage du sol. Chaque disque tourne librement sur son axe ; un petit versoir frontal améliore le retournement et le mélange de la terre et des débris végétaux, tout en limitant les risques de bourrage.

5.4.1 Les réglages

Les réglages de la charrue à disque portent sur la profondeur de travail, que l'on maîtrise grâce à la roue stabilisatrice et au réglage de l'attelage trois points et sur les angles caractéristiques des disques. Il y'a aussi l'horizontalité, l'aplomb, le talonnage, le devers de pointe.

➤ La profondeur

la profondeur de labour est fonction de la culture envisagée et du type de sol. Pour les charrues à disques portées le réglage de la profondeur est fait par le système de relevage hydraulique du tracteur. Compte tenu des efforts importants mis en œuvre et du soucis de mieux optimiser le taux de glissement du tracteur



(éviter le patinage excessif), le système de relevage est consigné sur le contrôle d'effort ou le contrôle mixtes s'il existe.

Au moment du réglage de la profondeur, veiller au réglage de la tension du ressort de la roue stabilisatrice en fonction de la cohérence du sol (sol dur : desserrer, sol meuble : serrer la vis du compression du ressort). un bon réglage assure une bonne stabilité de la charrue (c'est à dire la roue stabilisatrice s'accroche mieux au sol).

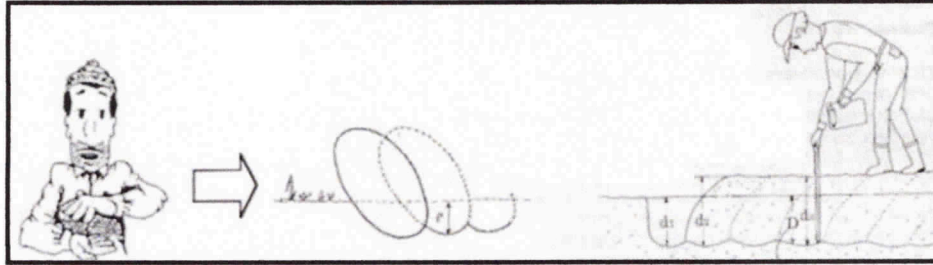


Figure 3.15 : Réglage de la profondeur

➤ Réglages de l'horizontalité

Une fois la profondeur réglée, on passe au réglage de l'horizontalité. Une mauvaise horizontalité induit des irrégularités de labour : les disques avant travaillent plus profondément que les disques arrières (on dit que la charrue pique) ou les disques arrières travaillent plus profondément que les disques avant (on dit que la charrue talonne). Une horizontalité bien réglée signifie une même profondeur de travail à l'avant et à l'arrière de la charrue.

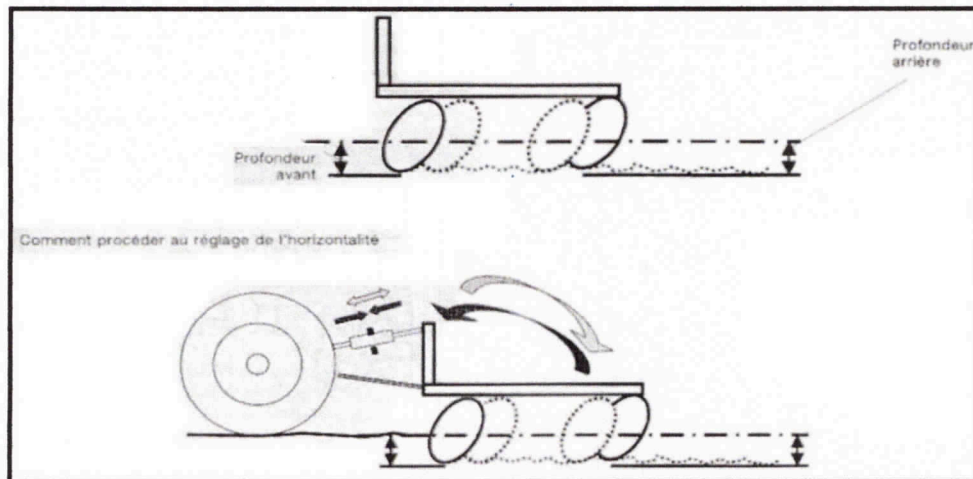


Figure 3.16 : Réglage de l'horizontalité

➤ **Réglage de l'aplomb**

Il s'agit de régler l'aplomb de la charrue par rapport au sol. ce réglage est effectué dans le but d'obtenir une profondeur homogène (transversalement) entre les différents corps de la charrue. Il se fait en agissant sur :

- La longueur des chandelles dans le cas d'une charrue simple.
- La position des butés (gauche et droite) dans le cas d'une charrue réversible (à disques pivotants).

Attention: ce réglage ne peut se faire qu'après avoir atteint la profondeur de travail requise et après avoir mis les roues d'un coté (droites et gauches) dans le fond de la raie (c'est à dire position normale de travail).

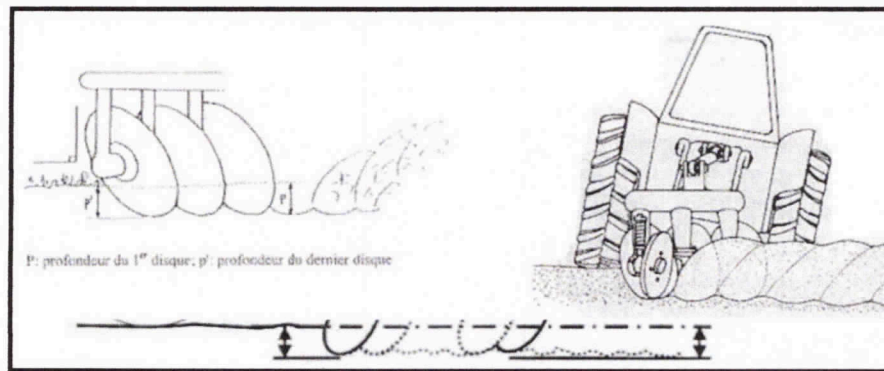


Figure 3.17 : Réglage de l'aplomb

➤ **Réglage de la première bande**

Normalement la largeur de travail de chaque disque est fixée par les réglages d'atelier (angle d'entrure) et par le réglage de l'angle de coupe dans le cas d'une charrue à disques pivotants munie de butées. ainsi durant le travail la largeur de la bande coupée par chacun des autres disques. Ceci est assuré par la rotation de l'âge par rapport au sens d'avancement. dans la pratique, ce réglage est réalisé par rotation de l'arbre coudé ou changement de trou, selon le mode de conception. La rotation de l'arbre coudé agit sur la rotation de l'âge et par conséquent sur l'angle de coupe. Un angle de coupe plus élevée permet d'augmenter la largeur de la première bande et au contraire, une diminution de l'angle de coupe permet de la diminuer.

Par ailleurs, il faut s'assurer que la voie du tracteur est compatible avec la largeur de travail de la charrue.

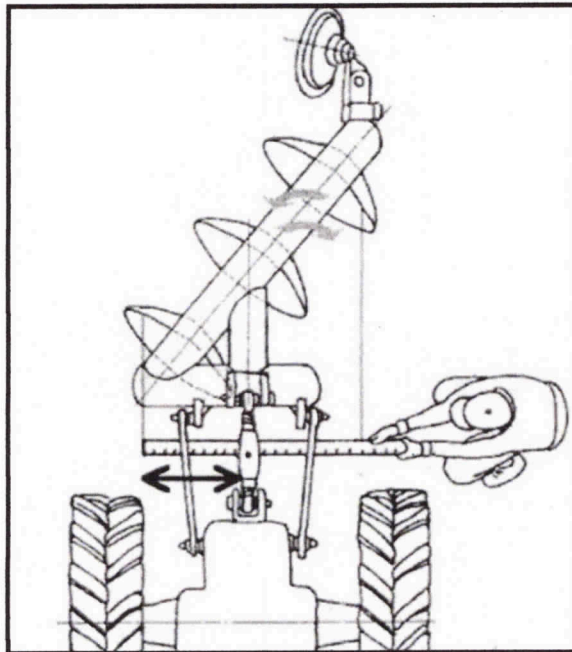


Figure 3.18 : Réglage de la première bande

➤ **Le réglage du devers**

Une charrue bien réglée signifie en plus de la qualité du labour, plus de confort pour la trajectoire et plus de stabilité tracteur-outil. Ce réglage est obtenu par une translation du bâti vers le guéret ou vers le labour selon le cas de figure. La translation est obtenue par le déplacement latéral de l'arbre coudé. Dans certaines charrues lourdes (plus de cinq corps) ce déplacement se fait à l'aide d'un vérin hydraulique (pour plus de détails consultez le manuel d'utilisation du constructeur).

Une fois le devers réglé, vérifier que la largeur de la première bande n'a pas été faussée.

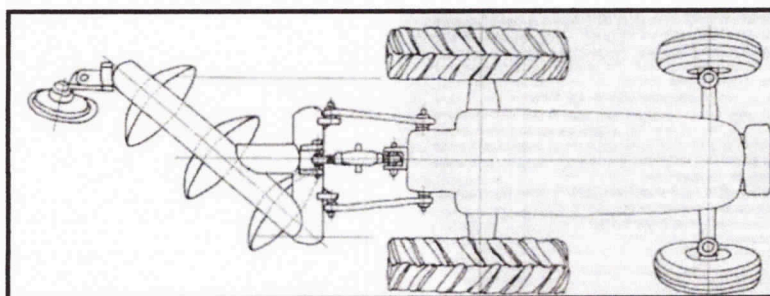


Figure 3.19 : Réglage du devers

5.4.2 **Les angles caractéristiques**

La position des disques est en effet définie par deux angles caractéristiques :
 - **l'angle d'attaque ou angle de coupe** est compris entre le plan horizontal du disque et l'axe d'avancement. Généralement stable (entre 40° et 45°), la pénétration dans la terre est d'autant plus facile que l'angle de coupe est plus grand.





- l'angle d'entrure est compris entre le plan du tranchant du disque et le plan vertical. Il varie entre 20 et 25°. Plus grand est cet angle, meilleur est le retournement et le mélange de la terre et des débris végétaux ou du fumier.

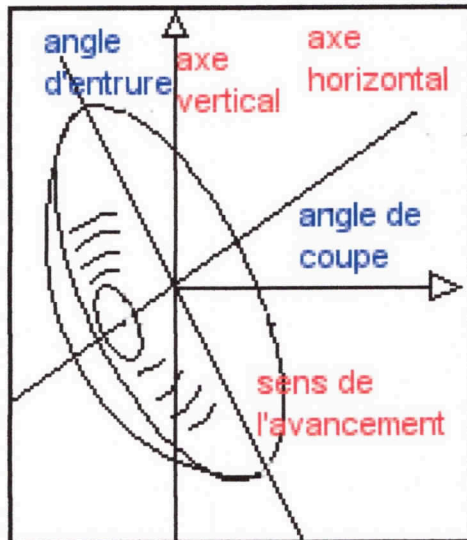


Figure 3.20 : les angles caractéristiques de la charrue à disque

En conclusion :

Charrue à disques

Puissance nécessaire → 15 à 20 chevaux par disque

Réglages possibles → Profondeur → angle d'attaque
 → Retournement du sol → angle d'entrure

Qualité de travail → Moins d'efficacité par rapport aux charrues à socs (profondeur)
 → Travail émiettant le sol
 → Utile pour les terres difficiles et caillouteux





6 Les outils à dents

6.1 Le cultivateur

Le terme "cultivateur" regroupe toute une famille d'outils à dents qui se différencient par la forme des dents, leur espacement le poids et le dégagement sous bâti. Les cultivateurs lourds (4 à 5 dents au mètre, 60 à 75 cm de dégagement sous bâti) sont adaptés à des opérations de déchaumage et de reprise profonds, voire de décompactage en non labour. Les cultivateurs légers (4 à 7 dents au mètre, 45 à 60 cm de dégagement sous bâti) sont appropriés en préparation de lit de semences.

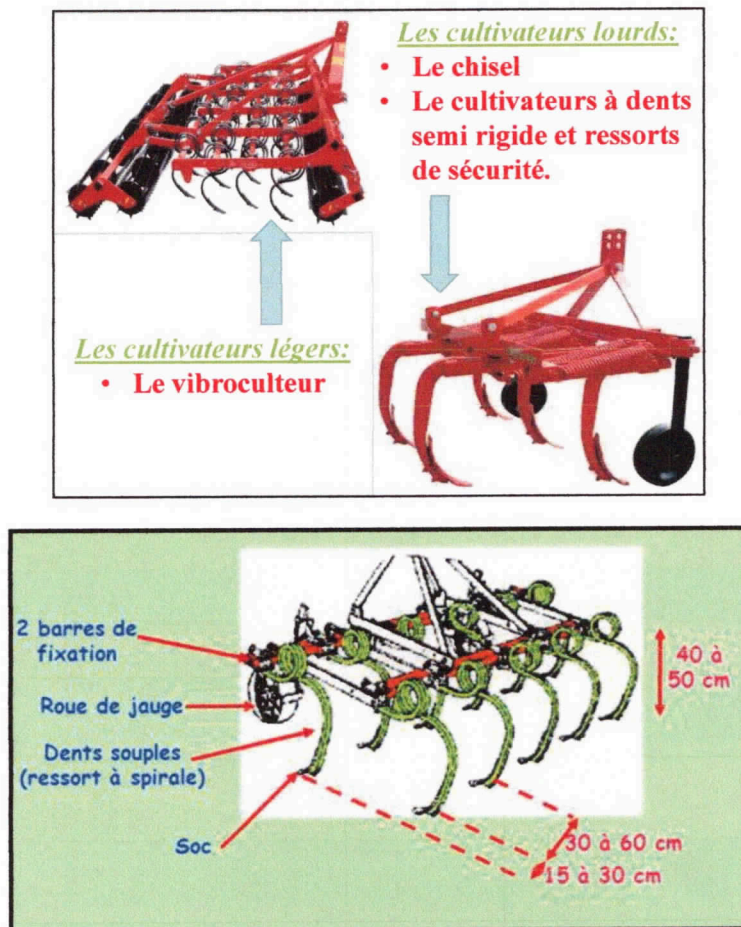


Figure 3.21 : les organe constitutifs d'un cultivateur à dents

6.1.1 Fonctionnement:

Les dents du cultivateur provoquent un fendillement de la terre sur leur passage. Les mottes sont alors projetées latéralement et s'entrechoquent, ce qui permet d'affiner la structure de la couche travaillée et d'incorporer éventuellement les résidus de culture. La terre fine glisse dans le sillon formé par la dent tandis que les mottes restent en surface. La souplesse de la dent, obtenue par différents types d'étauçons (double spire, avec ressort plat ou à spire) accroît l'effet de fragmentation de l'outil.



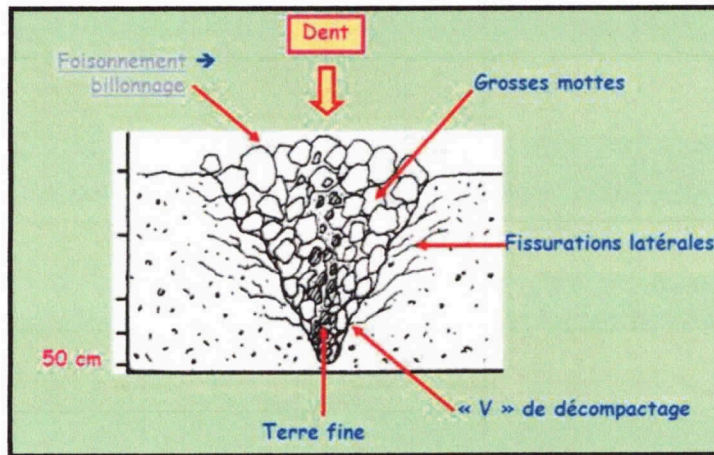


Figure 3.22 : Profil obtenu de l'action des dents

6.1.2 Les différents types de cultivateur

Les cultivateurs lourds sont souvent appelés "canadiens" ou "chisels" et les cultivateurs légers sont parfois baptisés également "canadiens" ou "vibroculteur" en fonction du type de dent.

6.1.2.1 Les cultivateurs lourds

Ils sont principalement utilisés pour les **déchaumages et les reprises profondes**. Ils peuvent avoir des **dents rigides** (cintrées ou droites), **semi-rigides ou flexibles**. On peut compléter l'émiettement ou le mélange des débris végétaux avec le sol en ajoutant d'autres équipements à l'arrière du cultivateur (**bêches roulantes, herse à peignes, roto-herse, rouleaux**). Les socs qui équipent les dents sont de type **extirpateur ou scarificateur** ('patte d'oie')

6.1.2.1.1 Le chisel

Le mot CHISEL très couramment utilisé en Algérie, est une appellation anglo-saxonne qui signifie **ciseau** ou **burin**. Cet outil a été développé au Etats-Unis, durant les années 50, afin de permettre, dans certaines zones semi-arides soumises à une forte érosion éolienne, une préparation des sols **sans enfouissement systématique de tous les débris végétaux encore en surface**.



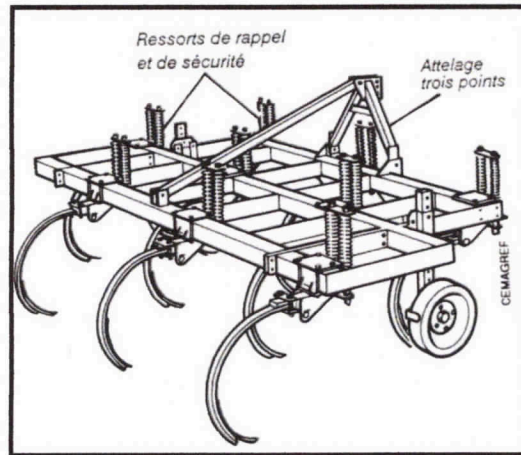


Figure 3.23 : Les organes constituants du Chisel

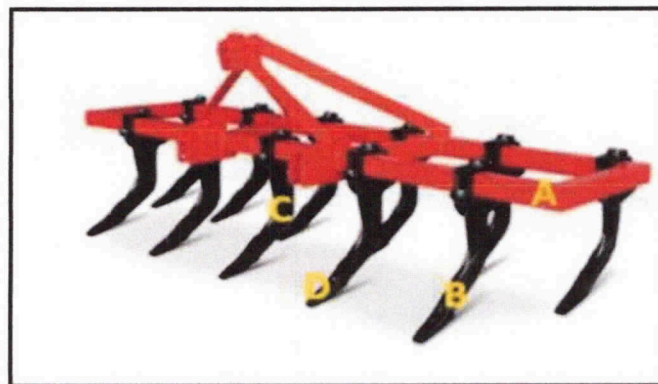


Figure 3.24 : Les organes constituants d'un chisel 11 dents

un **bâti** (ou **poutre**) (**A**) constitué de poutres sur les quels sont montés les dents,

les dents (**B**) : C'est la pièce travaillante du chisel. L'écartement entre les dents détermine

l'aptitude de l'outil à l'ameublissement et au mélange. Plus l'écartement est faible, plus l'éclatement et l'ameublissement du sol sont poussés, mais la pénétration se trouve réduite et le risque de bourrage est augmenté.

Selon les constructeurs, l'écartement entre dents varie de 25 à 40 cm. La dent est fixée sur le bâti et se compose de deux parties : **l'étauçon** (**C**) et **le soc** (**D**).

En conclusion :





Chisel

Puissance nécessaire → 10 à 20 chevaux par dent

Equipements → Etançons
→ Socs

Vitesse d'avancement élevée (5 à 8 km/h) → Rendements élevés

6.1.2.1.2 Le cultivateur à dents semi-rigides et ressort de sécurité

Il est utilisé dans les travaux de **reprise de labour**, et de **préparation du lit de semences**. Il présente une hauteur de dégagement sous bâti comprise entre 40 et 60 cm. L'espacement entre les dents en largeur, au niveau du sol, est comprise entre 15 et 25 cm, soit 1 à 1,5 fois la profondeur de travail maximale.



Figure 3.25 : Cultivateur à dents semi-rigide et ressort de sécurité

6.1.2.1.3 Les différents types de dents

Selon les constructeurs, l'écartement entre dents varie de 25 à 40 cm. La dent est fixée sur le bâti et se compose de deux parties : l'étauçon et le soc.



- **Les étauçons rigides** sont fixés au bâti grâce à de fortes brides souvent associées à des ressorts amortisseurs ou à des dispositifs de sécurité non-stop également à ressorts.
- **Les étauçons flexibles** sont formés de lames flexibles incurvées en arc de cercle ou en S fixées au bâti grâce à des brides associées, ou non, à des ressorts amortisseurs. La flexibilité des étauçons et l'action des ressorts amortisseurs permettent dans les cas favorables, des vibrations qui fissurent le sol et disloquent les mottes.

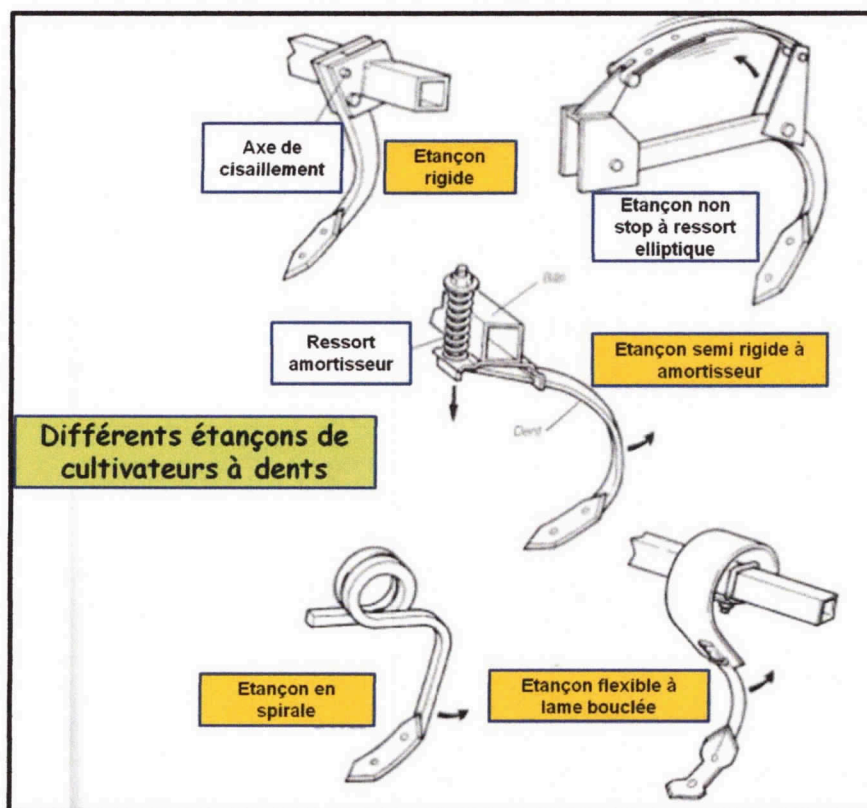


Figure 3.26 : Différents type de dents

- ✓ **Les socs** : selon leur utilisation, les chisels peuvent être équipés de différentes formes de soc: socs classiques, socs de scarifiage, socs vrillées, socs bombés, socs billonneurs, socs effilés ou patte d'oie (pour arrachage des mauvaises herbes). Les socs du chisel présentent des dimensions plus importantes et robustesse supérieure à celles des cultivateurs, afin de résister à des sollicitations plus sévères.

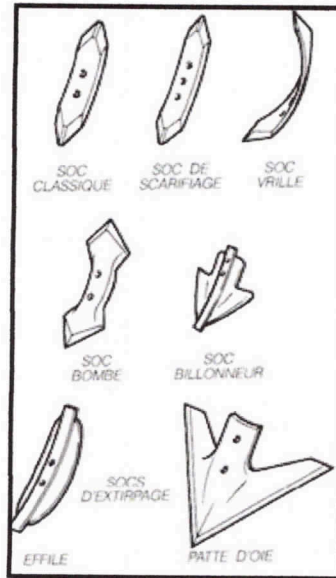


Figure 3.27 : Différents types de socs

6.1.2.2 Les cultivateurs légers

Ils sont équipés exclusivement de dents vibrantes en forme de "S" (étançon double spire) ce qui permet à la dent de vibrer longitudinalement et latéralement. Ce montage permet à la dent de s'effacer latéralement en cas d'obstacle. La section étroite de l'étançon limite les remontées de mottes et réduit les risques de formation de lards dans les sols à consistance plastique ou semi plastique. Leur effet est généralement complété par un nivellement du sol à l'aide de rouleaux cages, de bêche roulante ou de peignes.

6.1.2.2.1 Le vibroculteur

Appelés parfois «cultivateurs danois » ou « cultivateurs herses », les **vibroculteurs** sont des cultivateurs dont le mode d'action des dents fait surtout appel aux vibrations. Ces vibrations engendrent un écrasement des mottes et un émiettement du sol. Les vibroculteurs sont particulièrement recommandés pour les terrains en pente du fait qu'ils laissent un sol rugueux en surface permettant de limiter les problèmes de ruissellement et d'érosion.

Les vibroculteurs sont des outils utilisés pour la reprise et la préparation des lits de semences. Ils sont souvent associés à des rouleaux pour permettre un nivellement du sol après le passage des dents.





Figure 3.28 : Vibroculteur



Figure 3.29 : mode d'action des dents du vibroculteur

6.1.2.2.1.1 Les organes constitutifs

Le vibroculteur est constitué d'un bâti sur lequel sont montées les dents. Ces derniers qui ont une amplitude de débattement nettement plus élevée que celles des cultivateurs à dents souples. Les étauçons des dents sont en forme de « S » et présentent une grande flexibilité du fait de leur forme, de leur faible section et des aciers utilisés pour leur fabrication. Selon les cas, les étauçons peuvent être renforcés par un second ressort parallèle. Au travail, les dents sont animées de vibrations longitudinales et latérales qui remuent énergiquement les agrégats du sol en combinant,



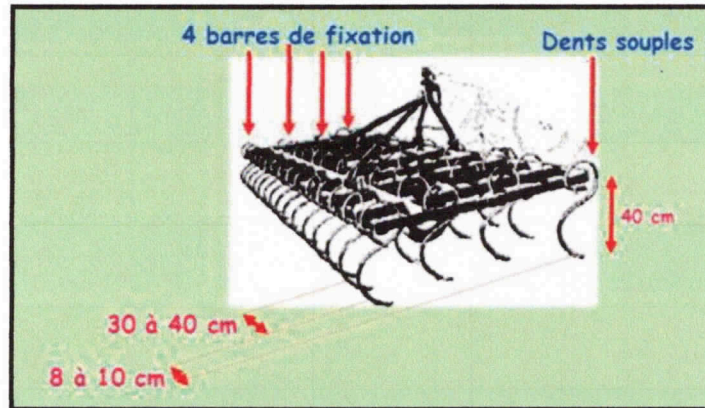


Figure 3.30 : Organes constitutifs du vibroculteur

Selon la nature du sol et la vitesse d'avancement, des effets de chocs, d'écrasement, de sectionnement,... Le degré de flexibilité de l'étau étant variable, l'angle d'entrure du soc peut varier selon le niveau de cohésion du terrain. L'intervalle entre les passages des dents est en général de 10 à 18 cm et chaque soc peut travailler le sol jusqu'à une profondeur de 10 à 15 cm. Les dents des vibroculteurs peuvent avoir différentes formes.

Parmi les profils des dents rencontrés chez les vibroculteurs, citons deux types de dents: «Kongskilde» et «Marskstig».

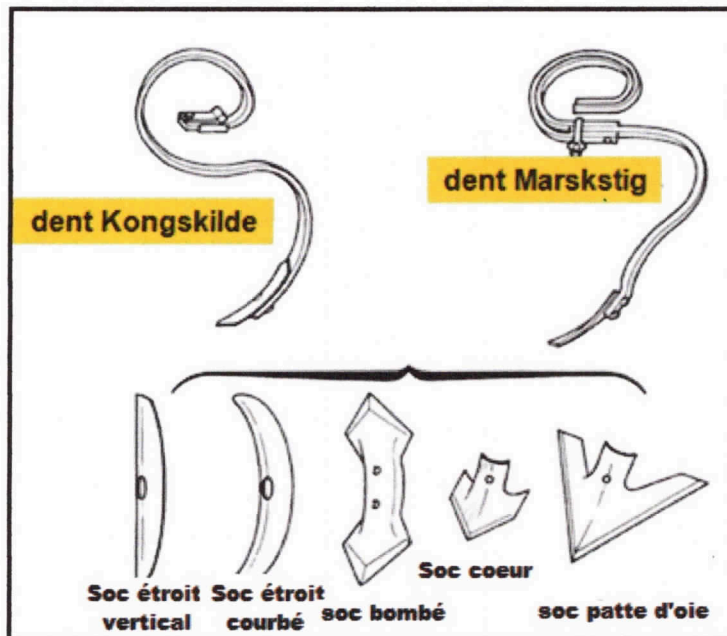


Figure 3.31 : différents types de dents du vibroculteur





6.1.3 Les réglages des outils à dents

Les réglages d'un cultivateur dépendent de son utilisation : reprise profonde ou superficielle, déchaumage, etc.

- le réglage de la profondeur se fait par l'intermédiaire des roues de jauge.
- l'émiettement dépend de plusieurs paramètres. Il est maximal si :
 - l'écartement entre les dents est faible ,
 - la vitesse d'avancement est élevée ,
 - les étançons vibrent longitudinalement et latéralement ,
 - la consistance du sol est friable
- l'effacement du relief de surface, souvent recherché en cas de reprise superficielle. Il est d'autant plus important que :
 - le nombre de dents est important ,
 - la largeur des socs est faible ,
 - le cultivateur est équipé de matériel comme cage roulante, herse peigne ou bèches roulantes.

Cultivateurs à dents :

Etançon vibrant (vibroculteur) → Ameublir le sol

Soc → Large ou étroit, plat ou bombé, patte d'oie

Plusieurs combinaisons d'outils

↓
Dents, lame niveleuse, herse roulante, herse peigne...

7 La herse classique

Les herses sont destinées aux opérations de préparation du lit de semences. Elles permettent d'ameublir superficiellement le sol soit, de le nettoyer en ramenant à la surface les mauvaises herbes, de le niveler et, objectif pour lequel elles ont été conçues à l'origine, d'enfouir les semences. Elles sont apparues au Moyen Age, en même temps que la charrue à versoirs.





Figure 3.31 : Herse classique

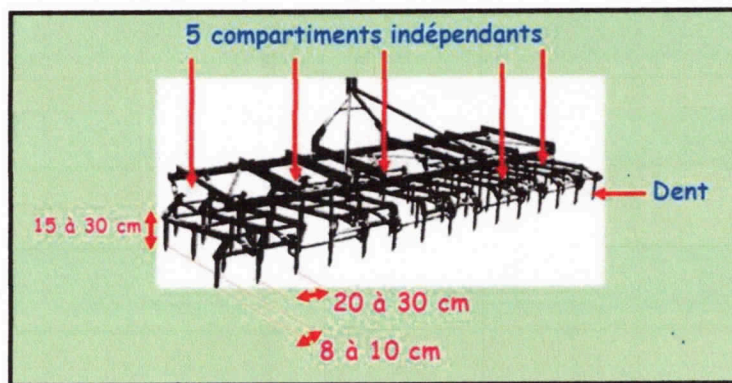


Figure 3.32 : Organes constitutifs de la herse

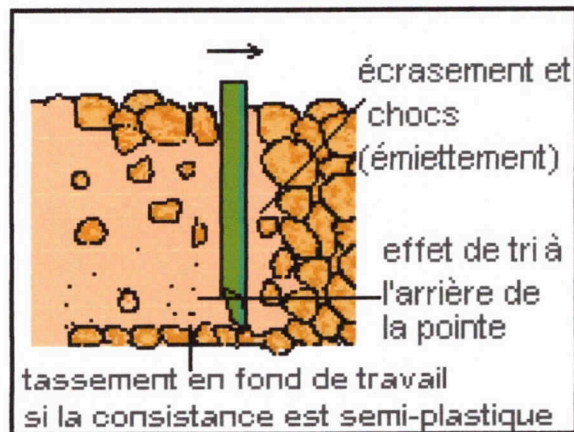


Figure 3.33 : Mode d'action de la dent de la herse





8 Le ROTAVATOR ou houe rotative

8.1 Utilisation

Du fait du sens de rotation du rotor, il nécessite peut d'adhérence du tracteur et valorise bien la puissance de la prise de force.

C'est un outil énergétique qui coupe le sol et laisse une couche de terre fine, en surface sensible à la battance.

Les dents coudées peuvent lisser le sol en fond de travail en conditions humides constituant un obstacle aux racines.



Figure 3.34 : La houe rotative

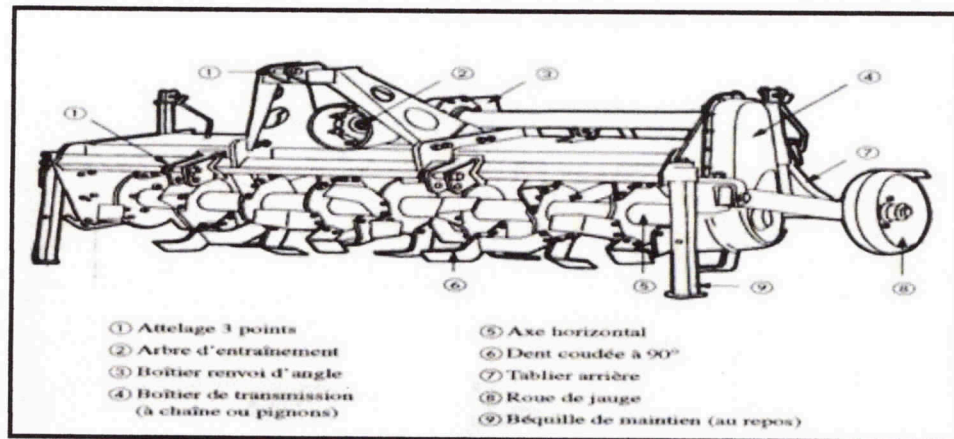
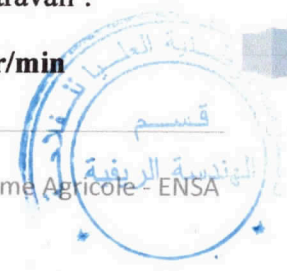


Figure 3.35 : Les organes constitutifs de la houe rotative

8.2 Réglages

Plusieurs réglages et équipements permettent de modifier la finesse de travail :

- La vitesse du rotor est réglable (boite de vitesse) 100 à 400 tr/min



- Tablier arrière rabattable sert à éclater les mottes.



9 Le pulvériseur ou cover crop

9.1 Utilisation

Les cover crop sont utilisés pour ameublir le sol et détruire les mauvaises herbes. Suivant leur usage, ces outils à disques sont appelés **déchaumeuses à disques** ou **pulvériseurs à disques**.

9.2 Fonctionnement

Ces outils sont munis d'un ou plusieurs trains de disques dont l'angle d'attaque, réglable, dépend du travail à effectuer. Par contre, contrairement aux **charrue à disque**, les disques sont **disposés verticalement par rapport au sol**. Les disques ont la forme d'une calotte sphérique plus ou moins bombée, de diamètre plus ou moins grand et dont le bord tranchant le sol est lisse ou crénelé. Ils tranchent le sol sur une profondeur qui dépend de la taille et du poids de l'engin, découpant une bande de terre qui est ensuite partiellement retournée par le disque lui-même. Le mouvement de la terre dépend de la taille du disque et de sa courbure. Pour augmenter l'efficacité de pénétration, le bord du disque peut être crénelé, mais dans ce cas, l'usure est plus rapide. Enfin, les disques peuvent être équipés de grattoirs (décrotteurs) qui raclent la terre collée à la pièce travaillante, afin de diminuer les forces de frottement.



Figure 3.36 : Cover crop ou pulvériseur off set



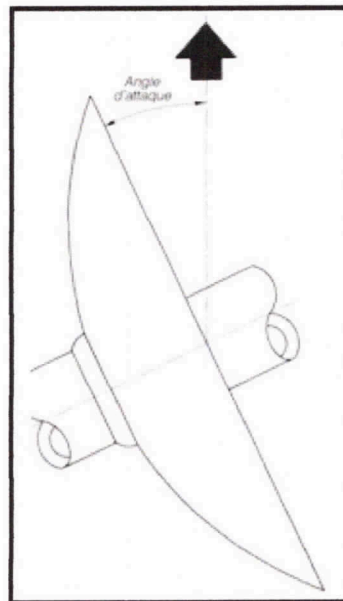
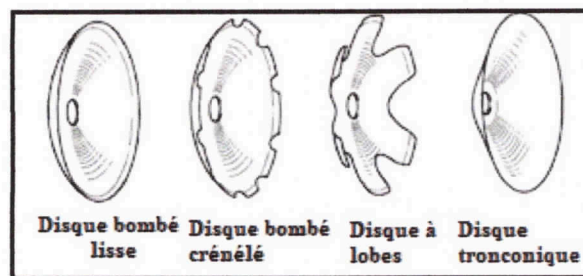


Figure 3.37 : Vue de dessus d'un disque de pulvérisateur et son angle d'attaque



Disque bombé lisse Disque bombé crénelé Disque à lobes Disque tronconique

Figure 3.38 : Différents profils de disques du pulvérisateur

9.3 Les différents types de cover crop

9.3.1 Les pulvérisateurs "offset" ou "cover-crop"

Les pulvérisateurs "offset" possèdent deux trains de disques disposés en "V" ouvert latéralement, travaillant la même bande de terre avec des séries de disques montés en opposition. Le train avant est en général muni de disques crénelés, facilitant ainsi la l'attaque dans le sol non encore travaillé. L'angle d'attaque du train suivant est plus grand que celui du train avant. On distingue selon le mode d'attelage les pulvérisateurs portés, semi-portés, traînés ou autoportés. Ils peuvent être déportés par rapport à l'axe du tracteur.

9.3.2 Les pulvérisateurs tandem

Les pulvérisateurs tandem possèdent quatre trains de disques disposés en "X". Ils sont de grande largeur (jusqu'à 8 m). Ces appareils travaillent de manière symétrique. Ils s'alignent dans l'axe du tracteur.



Ces outils sont proposés en trois gammes : légère (moins de 350 kg par mètre), moyenne (de 350 à 700 kg/m) ou lourde (plus de 700 kg/m).

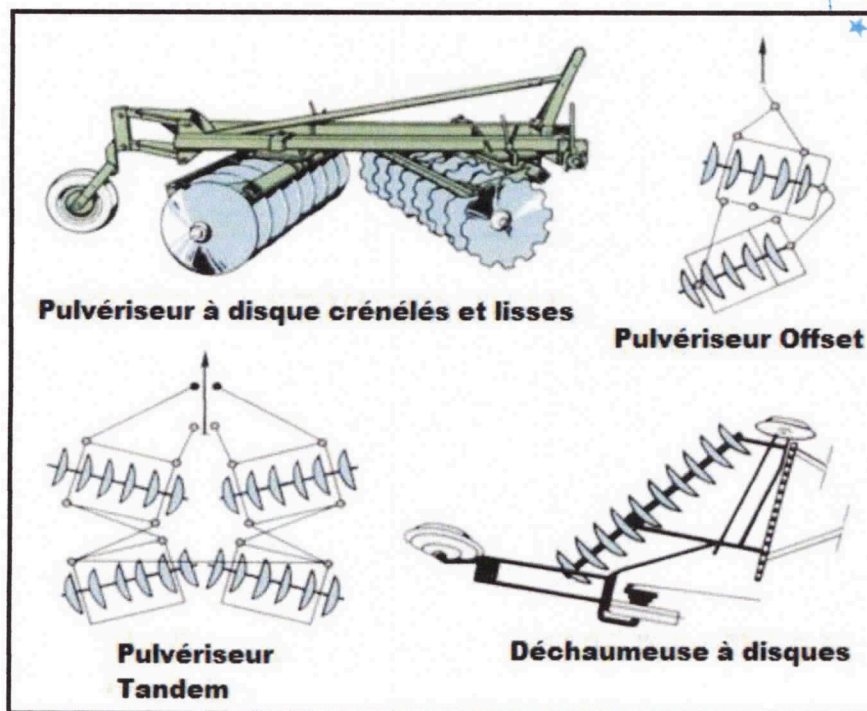


Figure 3.39 : Différents types de cover crop

9.3.3 Les réglages du cover crop

- **la profondeur** peut aller de 5 à 15 cm, la profondeur dépend essentiellement du poids des disques, de leur diamètre et du nombre de disques au mètre. La pénétration est accrue par l'angle d'attaque et l'emploi de disques crénelés à l'avant.
- **l'émiettement** est d'autant plus important que l'angle d'attaque et la vitesse d'avancement sont grands. Il dépend aussi du type de disque : le sol est plus émietté par les disques tronconiques que par les disques sphériques.
- **l'enfouissement et le mélange** sont accrus par la vitesse d'avancement, l'angle d'attaque, le nombre de trains de disques (ou de passages). Le mélange est donc plus homogène avec les pulvérisateurs (offset ou tandem) qu'avec une déchaumeuse à disques (un seul train de disques).

En conclusion:



- Déchaumeuse

 - Une seule rangée
 - Disque oblique pour compenser l'action du sol

- Pulvériseur offset (cover crop)

 - 02 rangées disposées en V
 - 1^{ère} rangée travail un sol difficile (disques crénelés)
 - 2^{ème} rangée avec un angle plus important (disques inversés par rapport à la première rangée)

- Pulvériseur tandem X

 - 4 rangée de disques ⇒ équilibre (meilleure stabilité)
 - Grande largeur de travail

10 Les rouleaux

Ces équipements sont **entièrement dédiés à la préparation des lits de semences** (à une exception près, le roulage des jeunes céréales ou des prairies pour favoriser le tallage). Ils agissent de façon très superficielle sur les sols, qu'ils tassent légèrement (on parle de rappuyage du lit de semences), tout en complétant l'action de fragmentation des mottes en surface.



Figure 3.41 : Rouleaux



A l'heure actuelle, **les rouleaux sont rarement employés seuls** : ils sont associés aux autres outils de préparation superficiels. Les rouleaux sont utilisés depuis très longtemps, sous des formes diverses. Au début de la motorisation, ces instruments ont simplement été attelés au tracteur : les types utilisés actuellement sont donc directement hérités de ceux employés du temps de la traction animale ; quelques modifications ayant simplement été apportées au bâti pour adapter ces matériels aux vitesses d'avancement élevées et aux grandes largeurs.

La diversité des formes et des poids des rouleaux s'explique par la complexité des problèmes à résoudre. Il faut en effet :

- ❑ tasser légèrement le sol (pour améliorer le contact terre graine, favoriser les remontées d'eau par capillarité et éviter un assèchement trop rapide de la surface),
- ❑ le niveler (pour faciliter la récolte lorsqu'il faut que la barre de coupe passe très près du sol),
- ❑ parfaire l'action des outils précédents en diminuant la taille des mottes en surface tout en triant mottes et terre fine. Le tout en évitant les bourrages.

Comme pour toute action contribuant à la préparation des lits de semences, il faut adapter ces objectifs aux risques liés à la nature du sol et du climat (risque de dessèchement trop rapide du lit de semences, risque de formation d'une croûte de battance), aux exigences particulières de la culture à implanter ainsi qu'à la nature de la culture précédent.

10.1 Les rouleaux lisses

Ils sont alors constitués d'un ou plusieurs éléments appelés billes, fabriqués en tôle de 5 mm, éventuellement remplis d'eau pour les alourdir. Lorsqu'on veut éviter de trop aplanir le sol, on utilise un rouleau de ce type dont la surface est ondulée. Les **rouleaux culti-tasseurs** (cultipackers en anglais) sont constitués de l'assemblage de 2 rouleaux, portant chacun des disques en fonte, parfaitement jointifs de 30 à 40 cm de diamètre. Les disques du rouleau avant sont plus grands que ceux de l'arrière et légèrement décalés par rapport à ceux-ci (d'une demi-largeur de rouleau) : ainsi les disques placés à l'arrière tassent la partie du sol qui n'a pas été touchée par les disques placés à l'avant. Le travail de fragmentation s'effectue par poinçonnement sur l'arête vive du disque. Lorsque la fragmentation des mottes s'avère particulièrement difficile, on peut utiliser deux trains de disques différents : lisses à l'avant, crénelés à l'arrière.

10.2 Les rouleaux squelettes

Ils comportent de nombreux éléments, minces et non jointifs : les mottes sont donc écrasées par effet de poinçonnement sur l'arête de ces éléments et par écrasement entre eux. Conçus sur un principe analogue, les **rouleaux spiralés** sont formés d'une spire



d'acier continue. De même, les **rouleaux cages** ("cages roulantes") sont constitués d'un bâti servant de support à des barres crénelées disposées en hélice.

10.3 Les rouleaux croskill

Ils sont formés de disques en fonte montés sur un même arbre, un grand disque (60 cm) étant encadré de deux disques plus petits (40 à 50 cm de diamètre). Ainsi deux disques successifs ont toujours un diamètre différent et tournent à des vitesses angulaires différentes : les mottes sont alors laminées entre les disques. De plus ce dispositif assure un certain auto nettoyage de l'outil. Chaque disque est crénelé sur sa périphérie et ses faces latérales, pour un meilleur écrasement des mottes. Ce type d'engin, utilisé pour la fabrication des lits de semences, exerce donc un effet d'émiettement très important. Les **croskillettes** sont conçues sur le même principe, mais sont plus légères et les disques sont de plus petit diamètre (20 à 35 cm); Elles permettent de tasser légèrement le lit de semences sans trop faire de terre fine. De plus, les pièces travaillantes tournant plus vite que celles d'un croskill, les projections exercent un effet de triage plus significatif.

10.4 Les rouleaux étoiles (herse norvégienne)

Ils sont constitués de deux ou trois arbres sur lesquels sont montées des étoiles en fonte (diamètre 25 à 40 cm) tournant librement sur leur axe et s'emboîtant en hélice de manière à s'enchevêtrer pour évier les bourrages et pratiquer un véritable auto-nettoyage de l'outil.

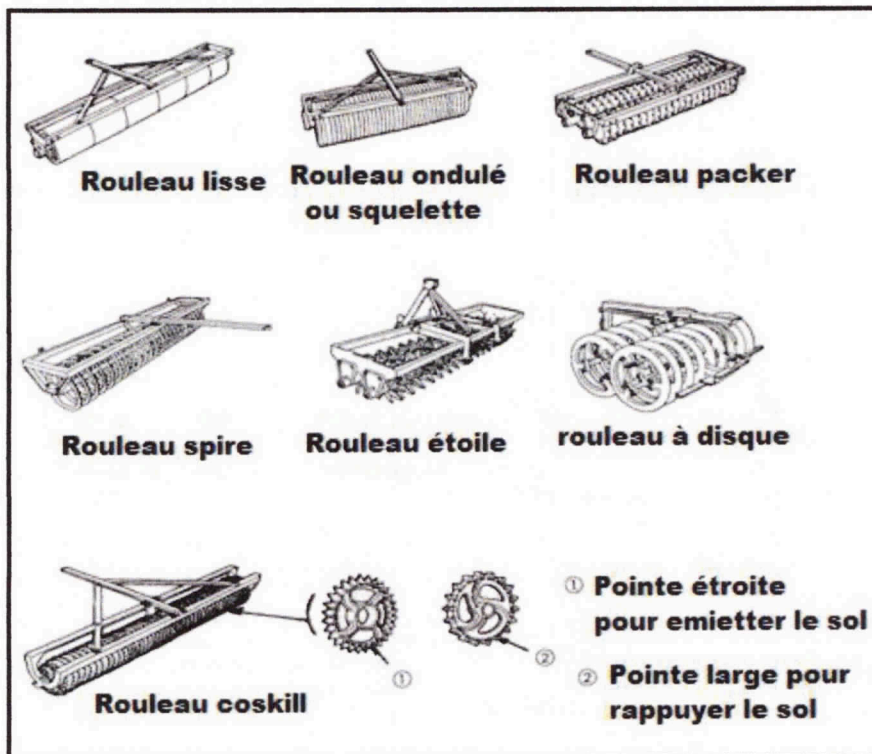


Figure 3.42 : Différents types de rouleaux





Figure 3.43 : Différents types de rouleaux au travail

11 Le sous solage

Le sous-solage est une opération dont le but est de régénérer la structure des horizons de sol situés sous le fond de labour. Réalisé avec un outils à dents droites (sous soleuse) cette opération poursuit deux buts principaux :

améliorer la croissance en profondeur des racines et favoriser le drainage de l'eau en excès. Ce terme est parfois employé au sens large pour décompactage bien que cette dernière opération ne concerne que la couche de sol située au-dessus du fond de labour. Beaucoup moins fréquent que le labour, il est réalisé avec un outil à dents droite, la sous soleuse. La profondeur du travail varie de 50 à 85 cm.

11.1 La sous soleuse

Une sous-soleuse est un décompacteur lourd, instrument de sous-solage et d'essouchement. Elle est constituée d'un assemblage de **dents très robustes** porté à l'avant ou à l'arrière d'un tracteur puissant ou d'un bulldozer. Les dents sont munies de socs plus ou moins effilés.



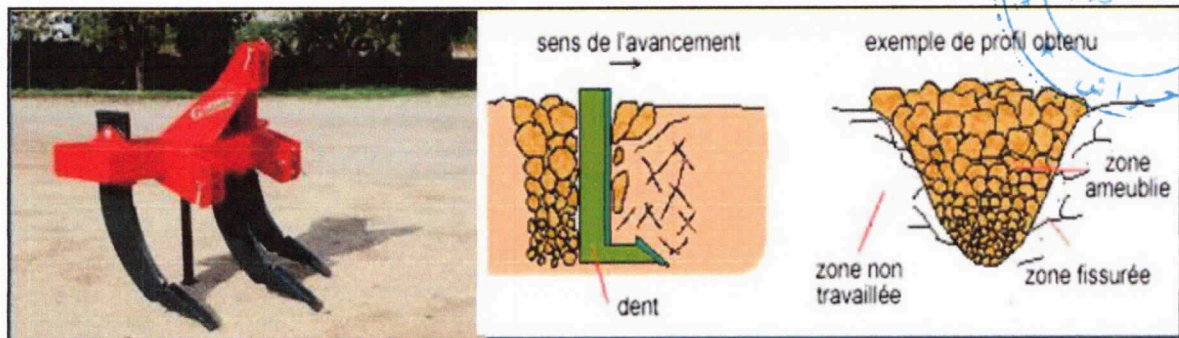


Figure 3.44 : Mode d'action d'une sous-soleuse

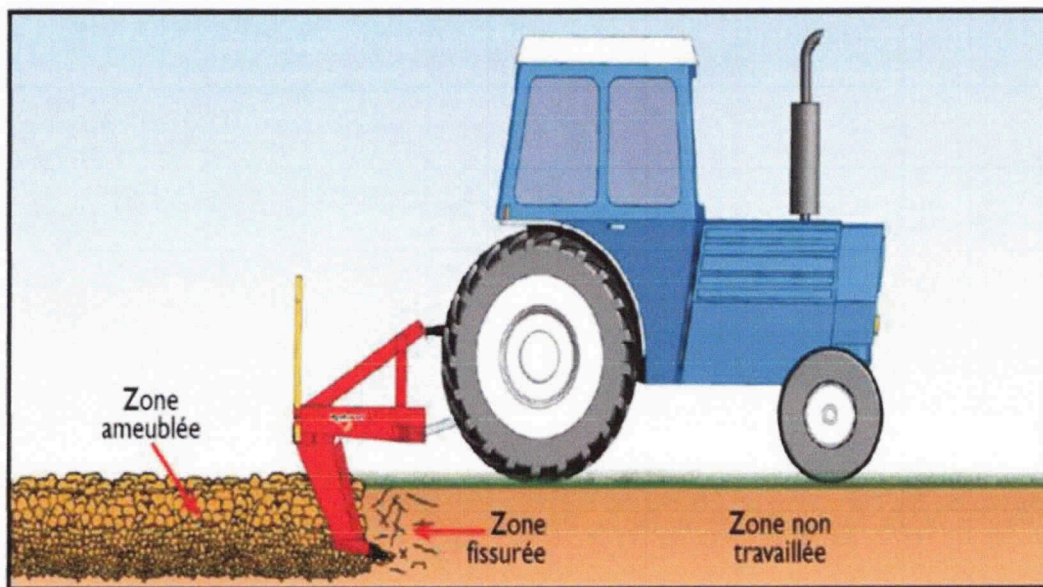


Figure 3.44 (bis) : Le principe de fonctionnement d'une sous-soleuse

Le sous-solage a pour effet de limiter les échange d'air et d'eau. Une bonne activité racinaire dépend d'un sol riche en oxygène.

Les sous-soleuses soulèvent les sols compacts à grande profondeur sans remonter les mauvaises terres.

12 Le décompactage

Le décompactage est une technique de travail du sol profond, sans retournement qui se distingue du sous-solage par une profondeur de travail inférieure (qui ne dépasse pas le fond de labour). On peut réaliser un décompactage à l'aide d'outils non animés à dents (cultivateur lourd) et d'outils animés par la prise de force du tracteur (cultivateurs rotatifs à axe horizontal). La profondeur de travail (qui peut atteindre 30 cm), ainsi que l'intensité de la fragmentation, varient suivant l'outil utilisé.



Le décompactage a essentiellement pour fonction d'ameublir l'horizon travaillé (de détruire les volumes de sol compactés lors de la culture précédente, en particulier à l'occasion des récoltes), sans retournement ni enfouissement, pour maintenir la matière organique à la surface du sol.

12.1 Le décompacteur

Le décompacteur permet de réaliser un **décompactage**, c'est-à-dire un **travail du sol profond (25 à 40 cm) sans retournement** grâce à des dents très robustes fixées sur un bâti porté ou semi-porté. On réalise ce type de travail lorsqu'il y a nécessité de fragmenter un sol compacté (en général par une récolte en conditions humides) sur une profondeur qui est de l'ordre de celle du labour.



Figure 3.45 : Décompacteur

Le décompactage est donc différent du sous-solage. La hauteur sous bâti d'un décompacteur varie de 60 à 75 cm (75 à 110 cm pour une sous-soleuse). Le nombre de dents par m est compris entre 2 et 3.

Chapitre 04: le matériel de semis

1 Introduction

L'implantation des cultures constitue une part importante des charges variables (opérationnelles) des exploitations agricoles. En terme de gestion, le semis est une opération déterminante, aussi bien par son cout (travail du sol, semences) que par la qualité de sa réalisation, avec ses répercussions possibles sur le rendement des récoltes et les objectifs de ressources.

Fréquemment réalisés après un labour et un travail superficielle, les semis s'effectuent, selon la nature des graines, avec **des semoirs en lignes ou des semoirs mono-graines de précision**.

Avant d'étudier ces deux semoirs, on traitera d'une manière simplifiée les aspects biologiques et agronomiques du semis.

2 Le processus de germination et de levée des plantes

Les graines sont de petits **réservoirs biochimiques** qui contiennent les **éléments généralitiques** de la plante et des **réserves nutritives** suffisantes pour permettre la germination et l'alimentation de la **plantule**. Le processus de la germination est très étroitement lié à la présence d'**eau**; pendant la période de conservation, le **pouvoir germinatif** des graines est bloqué par l'ambiance sèche du stockage.

Au terme du semis, la graine, en contact avec le milieu humide du **lit de semences**, germe et se transforme peu à peu en plantule. A ce stade, la plantule croît à partir des réserves nutritives de la graine, en développant **une tigelle** et des **racines primitives**. Lorsque la tigelle sort de la terre, la levée commence, la plante se libère peu à peu de la dépendance de sa graine grâce au développement de ses racines et **des parties aériennes**.

Le développement racinaire permet la nutrition de la plante, le **développement aérien** permet la **fonction chlorophyllienne et la photosynthèse**.

Dans ce processus de germination et de levée, l'eau est le facteur déclenchant essentiel, à condition toutefois que la température et l'aération du sol soient suffisantes, ou que la progression de la tigelle et des racines ne soit bloquée ou perturbée par un sol trop dur.

- l'excès d'eau et le manque d'air conduisent à l'asphyxie ou la pourriture de la graine;**
- Le manque d'eau, en empêchant la libération des substances nutritives de la graine, entraîne son dessèchement;**

- ❑ Un sol trop résistant à la pénétration de la tige et des racines primaires, entraîne l'épuisement des réserves de la graine, l'affaiblissement de la plantule et le cas échéant son dépérissement.

3 La semence

Les graines de semences sont des organismes vivants destinés à transmettre un patrimoine génétique. L'agriculture moderne utilise des semences obtenues par une sélection rigoureuse, par l'hybridation et, de plus en plus, par les techniques de génie génétique. Ces semences permettent aux agriculteurs de cultiver des produits à rendement élevé qui répondent aux critères de qualité du marché

Le coût élevé de ces semences implique qu'elles soient bien traitées par les matériels de semis et que leur mise en terre soit bien maîtrisée selon les conseils fournis par la recherche et les organismes spécialisés ; le succès de la récolte et la marge nette de l'exploitant en dépendent!

Pour obtenir **une production végétale** optimale, gage d'un **rendement** satisfaisant, les graines doivent être placées à des **profondeurs** et des **distances** bien déterminées. Pour y parvenir mécaniquement, il convient d'utiliser le semoir adéquat et de le régler correctement.

Chaque plante doit pouvoir explorer une certaine zone de sol pour que son développement se fasse le plus favorablement possible. Or, toute graine non germée entraîne un **manque** dans la parcelle. Un faible pourcentage de germination conduit à un rendement médiocre par une mauvaise occupation du terrain et laisse place libre à d'éventuelles plantes adventices concurrentes.

En résumé, la réussite d'un semis dépend de la qualité des graines, du milieu d'accueil de ces graines et de la qualité du travail réalisé par le semoir.

De manière simplifiée, la qualité des graines peut être définie par trois critères: la faculté germinative, l'énergie germinative et la régularité dimensionnelle.

Le lit de semence désigne la partie superficielle du sol qui reçoit les graines de semences et leur permet de germer, puis de développer leurs plantules. Sa préparation est déterminante pour assurer un **taux de germination** élevé. Rappelons que la valeur germinative d'un lot de semences dépend de l'état de la parcelle ensemencée (structure du sol) et des conditions climatiques avant, pendant et après le semis.

4 Le lit de semence

Le lit de semences doit correspondre à une structure favorable à la respiration de la graine et aux **échanges d'eau** qui s'établissent par **capillarité** entre les agrégats du sol et les graines.

De manière schématique, il est possible de résumer le fonctionnement d'un lit de semences par les observations suivantes:

- ✓ Une structure fine des agrégats du sol est favorable aux échanges d'eau et défavorable aux échanges d'oxygène;
- ✓ Une structure grossière rend les échanges hydriques plus difficiles, mais favorise les échanges en oxygène.

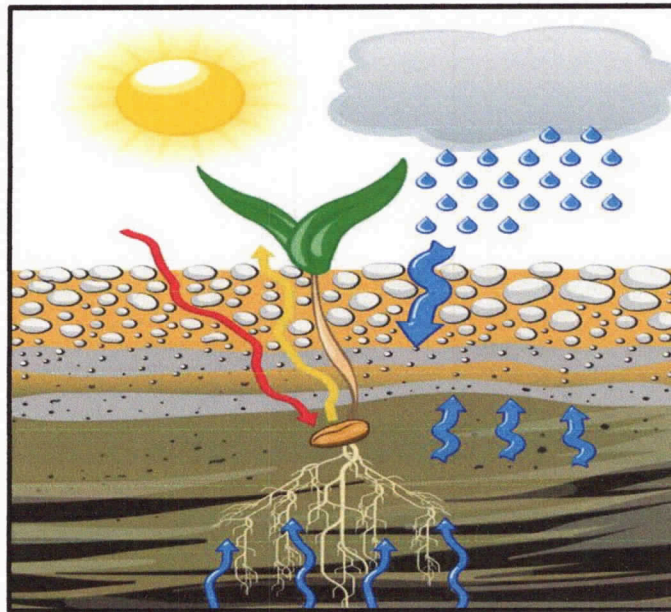


Figure 4.1 : Lit semence

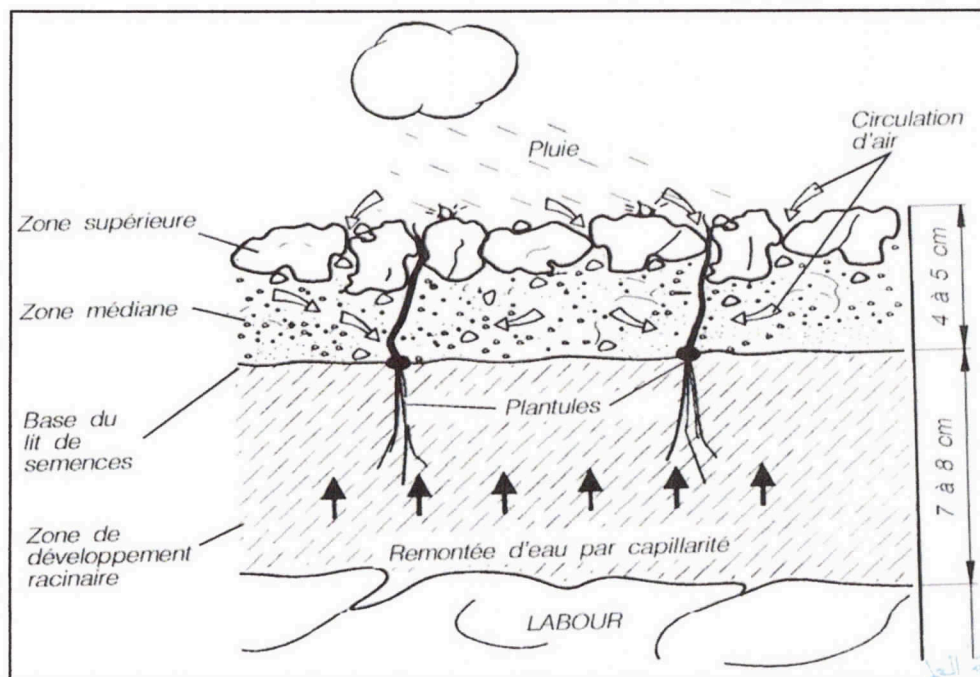


Figure 4.2 : Lit de semence type

En théorie on estime qu'un certain optimum est atteint lorsque 40 % des particules du sol, compris dans le lit de semences, ont un diamètre inférieur à celui des graines.

Un lit de semence type comprend quatre zones: **la base ou fond du lit, la zone médiane en contact avec la graine, la zone supérieure en contact avec l'air et la lumière, la zone de développement racinaire.**

- **la base du lit** : est suffisamment tassé ou **rappuyée**, de manière à contrôler les transferts d'eau par capillarité. Elle doit être aussi **suffisamment fissurée** pour permettre le développement des racines.
- **la zone médiane** : est constituée d'une couverture de terre fine en contact direct avec la graine, afin de l'envelopper tout en lui communiquant l'humidité et l'air nécessaires;
- **la zone supérieure** : est plus motteuse en surface, de façon à limiter la formation de croute de battance, à faciliter le réchauffement et l'aération du sol, à limiter l'évaporation,
- **la zone de développement racinaire** : doit être suffisamment rappuyée pour favoriser la remontée d'eau par capillarité et permettre un bon contact avec les racines.

5 Les caractéristiques des semis

5.1 La profondeur de semis

les graines doivent être enfouies à une profondeur régulière. C'est un facteur de réussite du semis qu'il importe de bien maîtriser, il faut, en particulier, limiter la vitesse d'avancement, de manière que l'élément semeur ne rebondisse pas sur le sol.

céréales	2 - 3 cm	luzerne	1 - 2 cm
Pois protéagineux	4 - 6 cm	betterave	2 - 3 cm
colza	2 - 4 cm	mais	2 - 6 cm
soja	2 - 5 cm	sorgho	2 - 3 cm
tournesol	2 - 4 cm		

5.2 La dose de semis

La densité de semis se raisonne en fonction de la date de semis, du type de sol et des conditions de semis. L'objectif est d'atteindre 200 pieds/m² à la sortie d'hiver pour les semis précoces et 220 à 250 pieds/m² pour les tardifs. Augmenter considérablement la densité de semis n'améliore pas le rendement. Les densités élevées conduisent régulièrement à de la verse physiologique, et favorisent le développement des maladies foliaires.

	Bonne terre (tallage facile)	Petite terre (tallage difficile)
20 octobre au 1er novembre	220 à 250 gr/m ²	250 à 280 gr/m ²
1er novembre au 11 novembre	250 à 280 gr/m ²	280 à 320 gr/m ²

Au delà du 11 novembre, il faut augmenter de 30 gr/m² par quinzaine de retard. En conditions difficiles, il faudra majorer la densité à défaut de reporter le semis.

La dose de semis est exprimée en kg/ha, elle dépend du peuplement de graines souhaité (nombre de graine/ hectare) et du poids de mille grains (PMG). Elle permet le calcul des quantités de semences à commander en fonction de la superficie à ensemençer.

$$\text{La dose de semis} = \frac{\text{Nombre de graine par hectare} \times \text{PMG (g)}}{1\ 000\ 000}$$

6 Le semoir en ligne

6.1 Utilisation

Les semoirs en ligne (ou multigraines, ou semoirs à céréales) sont des outils permettant le semis régulier en lignes équidistantes et à profondeur uniforme de presque toutes les graines utilisées en grande culture

6.2 Description des éléments constitutifs

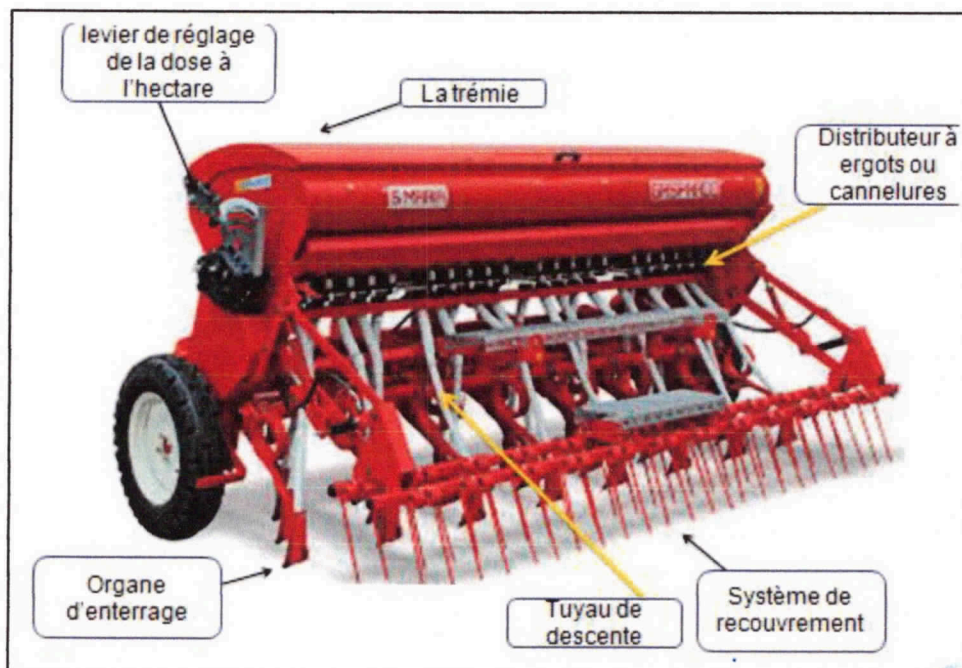


Figure 4.3 : Les organes constitutifs d'un semoir en ligne



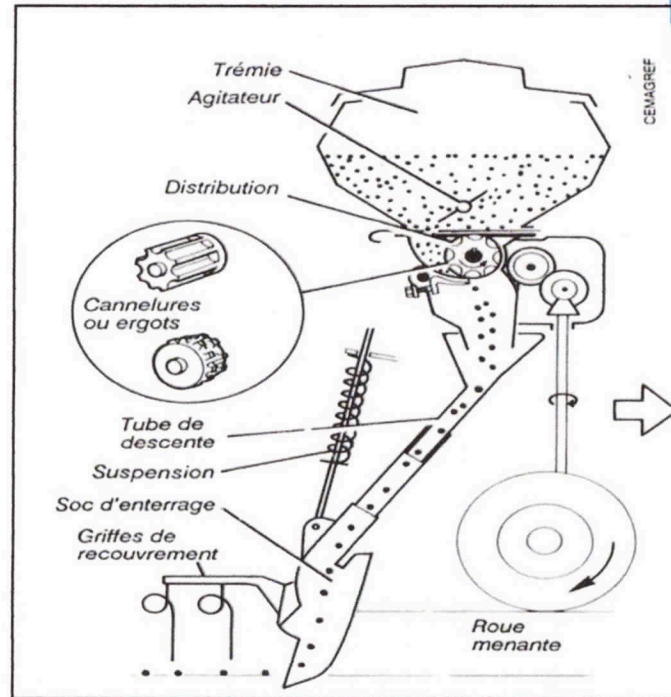


Figure 4.4 : Vue d'une coupe de semoir en ligne

6.2.1 La trémie

Il s'agit du réservoir qui communique avec les organes de distribution et dans lequel se trouvent les graines à semer. Pour les semoirs avec écoulement par gravité, elle est de section trapézoïdale, et a une capacité de 100 à 200L par mètre de largeur de semis. Les orifices d'alimentation des organes de dosages peuvent être obstrués par des vannes coulissantes pour supprimer l'alimentation de certains doseurs. Les semoirs avec transport pneumatique possèdent une trémie en forme de cône ou de pyramide.

6.2.2 Organes de distribution

Ils permettent une grande régularité des semis et peuvent être utilisés pour différents calibres de semences. Les semences sont dosées par une série de cylindres soit à **cannelures** (droites ou hélicoïdales) soit à **ergots**, qui tournent dans des boîtes de distribution. Pendant la rotation des cylindres, les graines sont entraînées au fond des boîtiers jusqu'aux tubes de descente. On règle le débit en modifiant la vitesse de rotation, mais aussi en adaptant la largeur utiles des cannelures (pour les cylindres à cannelures). Les semoirs à transport pneumatique sont équipés d'une distribution centralisée par rouent à cellules doseuses : ce système est constitué d'une roue à cellules dont l'étanchéité est assurée par une brosse en nylon dans la partie supérieure et une languette en caoutchouc dans la partie inférieure.

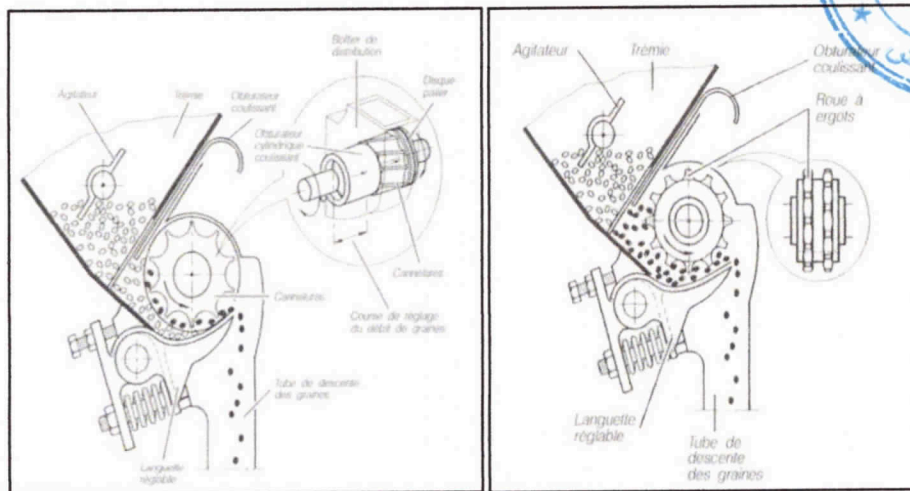


Figure 4.5 : La distribution à cannelures (à gauche) et à ergot (à droite)

6.2.3 Tubes de descente

Ils assurent la liaison entre les organes de distribution et les organes d'enterrage.

6.2.4 organes d'enterrage et de recouvrement

Les organes d'enterrage ouvrent des tranchées, de profondeur déterminée, variant en fonction de la nature du sol et du type de semence. On distingue trois types d'organes de mise en terre : le soc, le disque simple (permettant de travailler sans bourrage, conseillé pour le semis direct et en cas d'association du semoir aux outils de préparation du sol) et le disque double (recommandé en terrain insuffisamment préparé ou encombré de résidus de récolte).

Les organes de recouvrement referment le sillon derrière les socs ou les disques. Ils sont en général constitués de dents souples, soit double dent fixée sur le soc, soit herse à deux rangées de dents droites à ressorts (le plus utilisé), soit herse à doigts flexibles, (adaptée aux semis encombrés de débris végétaux).

6.2.5 Equipements accessoires

- **les effaceurs de traces** : ce sont des dents vibrantes adaptées à l'avant du semoir, relevant la terre tassée par les roues du tracteur et permettant ainsi à l'organe d'enterrage suivant de tracer un sillon
- **le dispositif de traçage** : tous les semoirs multigraines possèdent des traceurs latéraux qui marquent des lignes que le tracteur suivra au prochain passage. Il s'agit de disques montés sur des bras réglables.
- **le système de jalonnement** : le jalonnement consiste à ménager des espaces non ensemencés en vue des traitements ultérieurs (épandage, pulvérisation). Il est assuré par la fermeture ou le débrayage des distributeurs correspondant. Ce

fonctionnement est aujourd'hui automatisé et programmé. des disques traceurs permettent de repérer les lignes non ensemencées avant la levée.

- **les équipements de contrôle électronique** : le débit, la profondeur de semis et le jalonnement peuvent être contrôlés par des équipements électroniques.

6.3 Réglage du semoir en ligne

6.3.1 L'aplomb du semoir

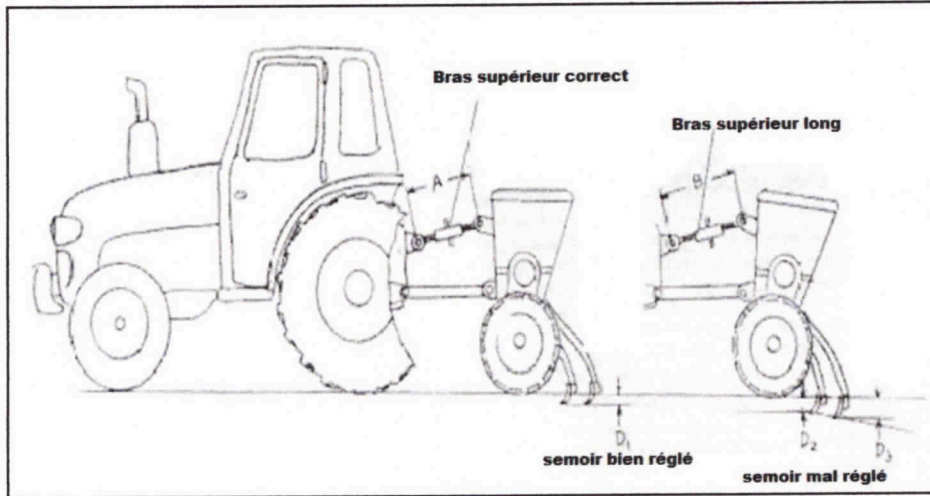


Figure 4.6 : Réglage de l'aplomb d'un semoir en ligne

6.3.2 La profondeur

une commande centralisée peut modifier la position de tous les organes d'enterrage, ajustant la profondeur pendant le travail, selon la nature du terrain. Une commande individuelle permet également d'exercer par exemple une pression plus forte sur les organes travaillant dans le passage des roues du tracteur

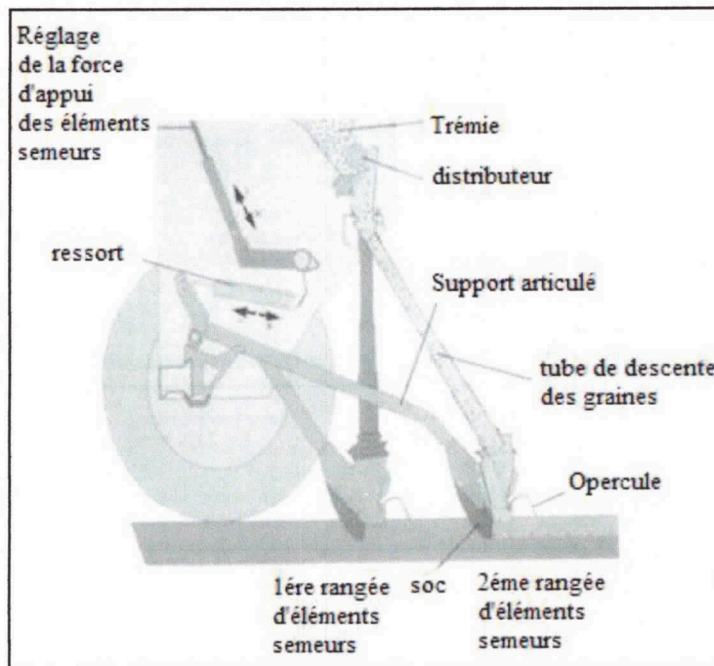


Figure 4.7 : Réglage de la profondeur du semoir en ligne

6.3.3 L'écartement des lignes de semis

il s'obtient en déplaçant les bras de fixation des socs d'enterrage.

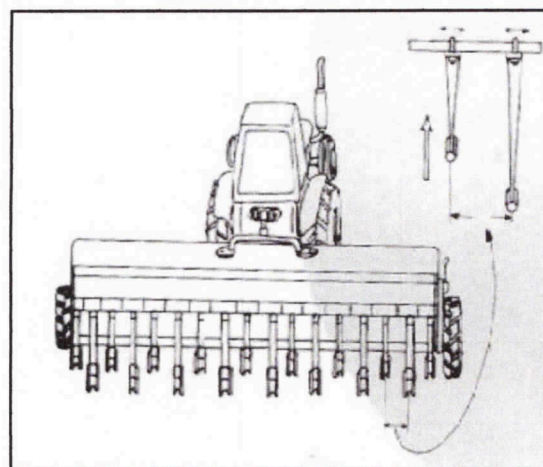


Figure 4.8 : Réglage de l'écartement des lignes de semis

6.3.4 Réglage des accessoires

6.3.4.1 Réglage du fond du boîtier de distribution:

Il se fait en fonction de la grosseur des grains afin qu'ils passent facilement sans être écrasés ou blessés par les arêtes des cannelures ou des ergots.



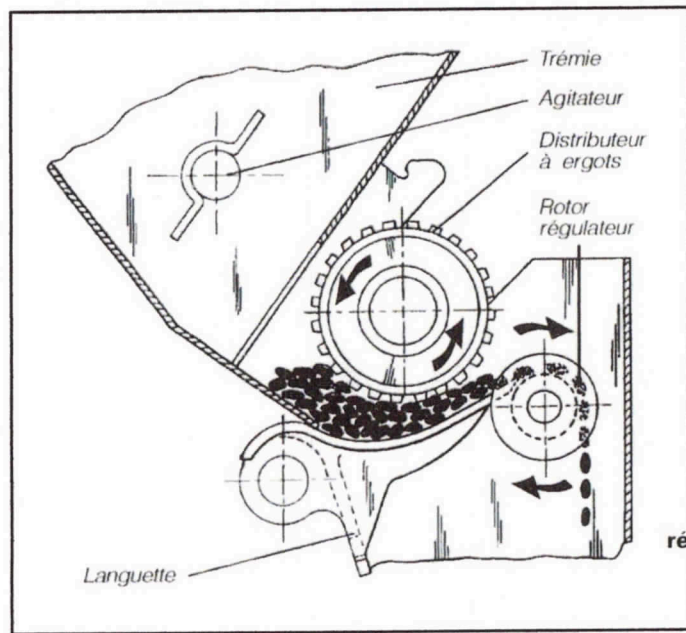


Figure 4.9 : Réglage du fond du boîtier de distribution

6.3.4.2 Réglage de la vanne de contrôle:

L'ouverture à donner aux vannes à glissières qui contrôlent l'approvisionnement en graines, elle se règle en fonction de la grosseur des graines utilisées, elle ne sert pas à régler le débit du semoir.

6.3.4.3 Réglage de la position des effaceurs de traces:

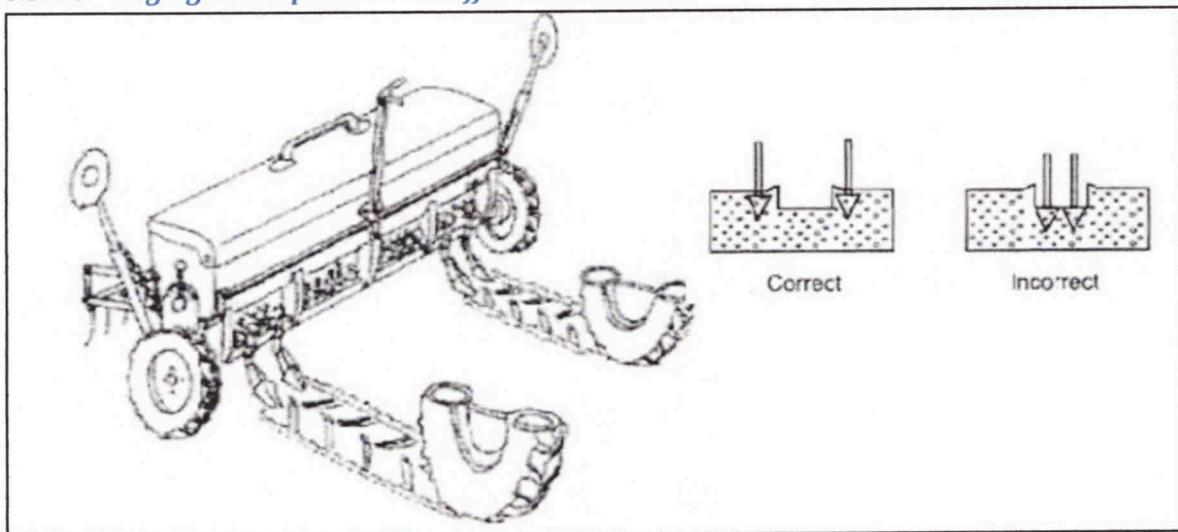


Figure 4.10 : Réglage de la position des effaceurs de traces

6.3.5 Réglage des traceurs

Le guidage du conducteur pour « raccorder » correctement les passages de semoirs en lignes et des semoirs monograine, est réalisé par un repérage, au moyen de traceurs ou





de marqueurs. Le rôle des traceurs est de marquer au sol la trace que le tracteur devra suivre lors du passage suivant.

La figure suivante montre que la distance (D) qui sépare l'axe du traceur de l'axe d'avancement du semoir est égale à la largeur semée (L) diminuée de la demi-voie avant du tracteur (V) :

$$D = L - \frac{V}{2}$$

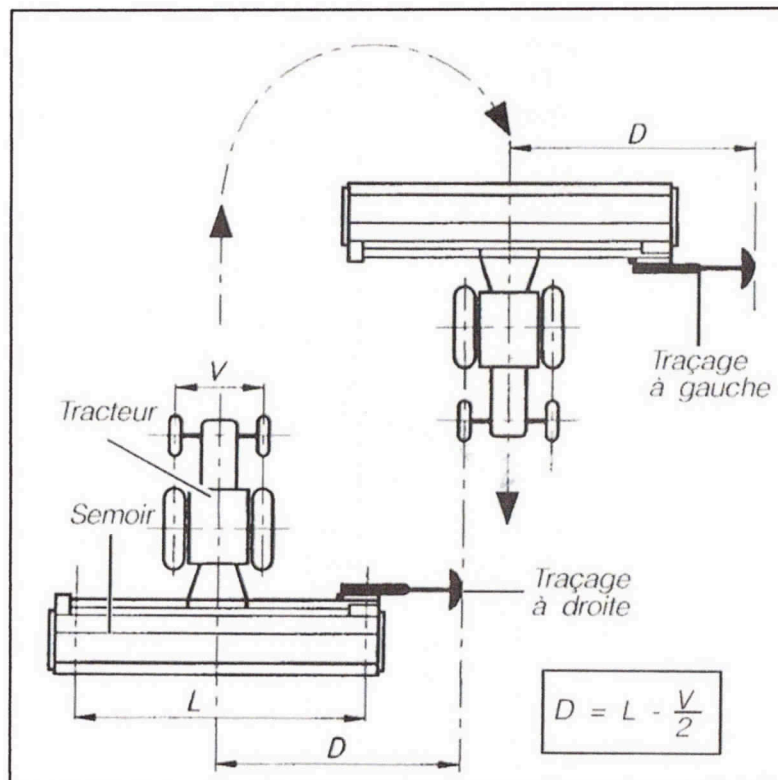


Figure 4.11 : Réglages des traceurs

6.3.6 Réglage de la dose de semis/ha

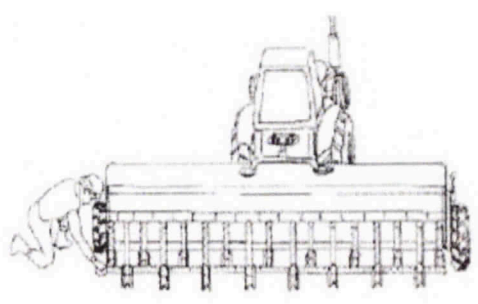
❑ Réglage de la largeur du semoir

Soit elle est mesurée, soit elle est calculée :

Ls = nombre de rang * espacement entre rang

Exemple numérique : L = 2,5 m





Mesurer la circonférence de la roue du semoir (C)

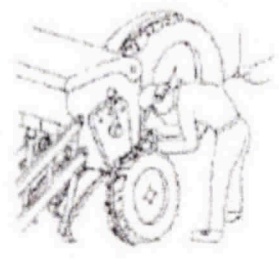
La surface correspondant à un tour de la roue est : $S (m^2) = C * L$

Exemple numérique:

C: 4 m

Donc :

$S (m^2) = 4 * 2,5 = 10 m^2$



Positionner le levier de réglage de la dose à l'hectare au repère recommandé par le fabricant du semoir ou par tâtonnement.

Exemple numérique:

Position 4 pour une dose de semis de 150 kg/ha

EXEMPLE DE TABLEAU D'ETALONNAGE D'UN SEMOIR EN LIGNE	
Position du levier	Dose de semis
2	69
3	107
4	150
5	182
6	219
7	256





- Soulever la roue du semoir et tourner la N fois.

Récupérer ensuite la semence par un auget ou une bêche déposée en bas du semoir .

La surface correspondante à N tours est de : $H = N * S$

La quantité de semences récupérées R doit être normalement :

$$R = \frac{Q * H}{10\ 000}$$

Exemple numérique :

N = 10 dans ce cas $H=10*10=100\ m^2$

Q= 150 kg/ha (voir étape 3)

Dans ce cas la quantité R est

$$R = \frac{150 \times 100}{10000} = 1,5\ kg$$

- Récupérer la semence versée et peser la à l'aide d'une balance, et comparer la quantité mesurée avec celle calculée.

Supposons que la quantité mesurée est de 2kg dans ce cas il faut changer la position du réglage (étape 3) vers une graduation inférieure.





6.4 Réglage électronique du semoir

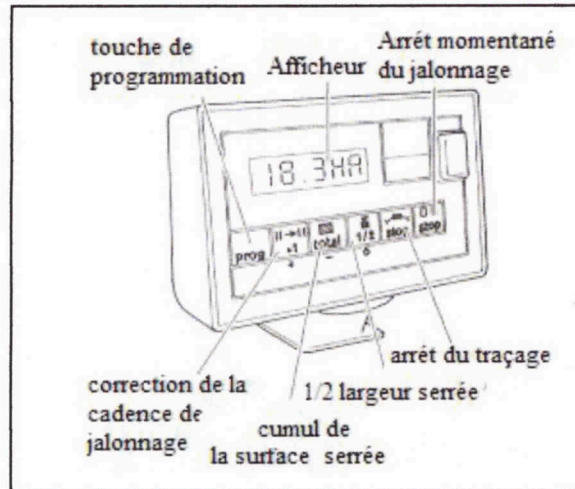


Figure 4.12 : Dispositif de réglage électronique du semoir

7 Le semoir de précision ou monograines

7.1 Utilisation

Les **semoirs monograines** ou **semoirs de précision** permettent de disposer **les graines une à une en ligne à un espacement régulier** préalablement défini. Ils sont utilisés pour des cultures d'inter-rang supérieur à 25 cm et nécessitant un dépôt de graines précis, telles que **les betteraves, le maïs, les haricots, le pois, le tournesol ...** mais aussi les cultures maraîchères et florales.

7.2 Fonctionnement

Ne sont explicités ici que les semoirs de précision **multi-trémies** qui sont les plus fréquents : chaque rang est alimenté en graines par une trémie individuelle reliée à ses propres organes de distribution, d'enterrage et de rappuyage. Les graines, stockées dans la **trémie**, sont déposées à la profondeur désirée dans un sillon par les **organes de distribution** (disques alvéolés, injecteurs..) sous l'effet de la gravité ou d'une assistance pneumatique. Avant l'ouverture du sillon par le soc (ou plus rarement par un disque), une **roue avant** éventuellement dotée d'un **chasse motte** se charge de niveler le lit de semences. Sitôt le dépôt de la graine par le **soc** effectué, des **rouleaux** situés à l'arrière rappuient le sol (pour assurer un bon contact graine-sol) et referment le lit de semences, en ramenant la terre écartée par le **chasse-motte**. Pour assurer la régularité de la profondeur de semis, les éléments semeurs sont reliés au châssis par un **parallélogramme déformable** demeurant toujours parallèle au sol.



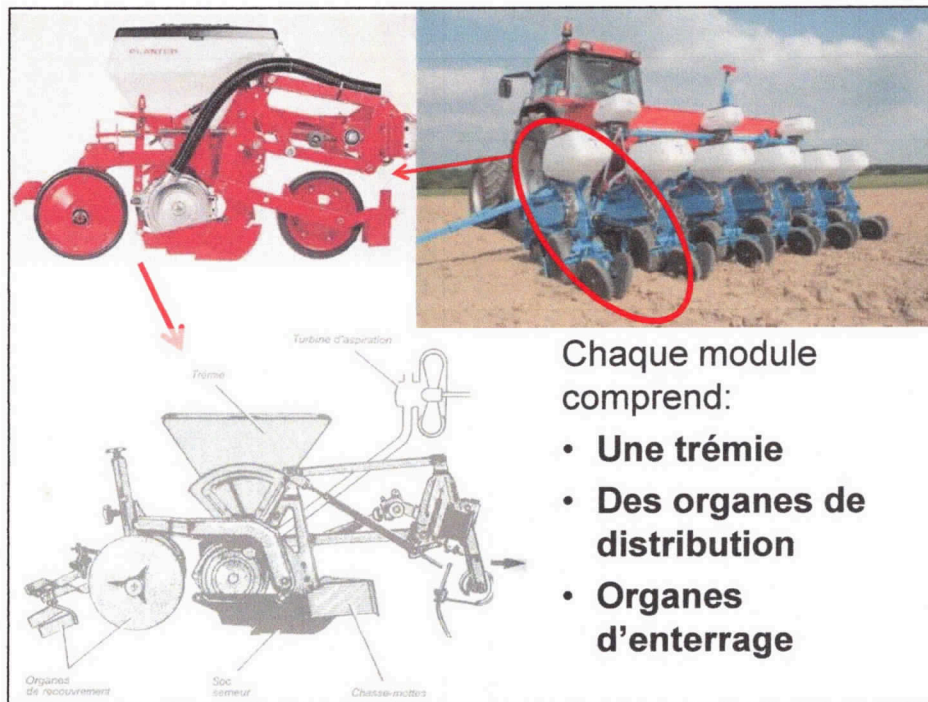


Figure 4.13 : Schéma général d'un semoir de précision

7.3 La distribution

Par sa face opposée aux graines, ce disque est en contact avec la chambre à dépression qui est soumise à l'aspiration d'un ventilateur centrifuge entraîné par la prise de force du tracteur. Pendant la rotation du disque, les graines sont aspirées et plaquées contre les perforations qu'elles ne peuvent franchir.

L'élément semeur comprend une trémie principale approvisionnant en graines une **chambre d'alimentation** séparée d'une **chambre à dépression** par un **disque de distribution** placé verticalement.

Le disque, porte à sa périphérie, des perforations dont le diamètre est inférieur à celui des graines utilisées.

Le disque les entraîne alors sur environ $\frac{3}{4}$ de tour jusqu'au point le plus bas où la suppression de la dépression leur permet de tomber dans le sillon. Cette opération est assurée par une cloison qui agit à la manière d'une vanne.

L'action d'un **sélecteur** à languette crantée ou à pointes permet l'élimination des graines aspirées en surnombre dans les perforations .



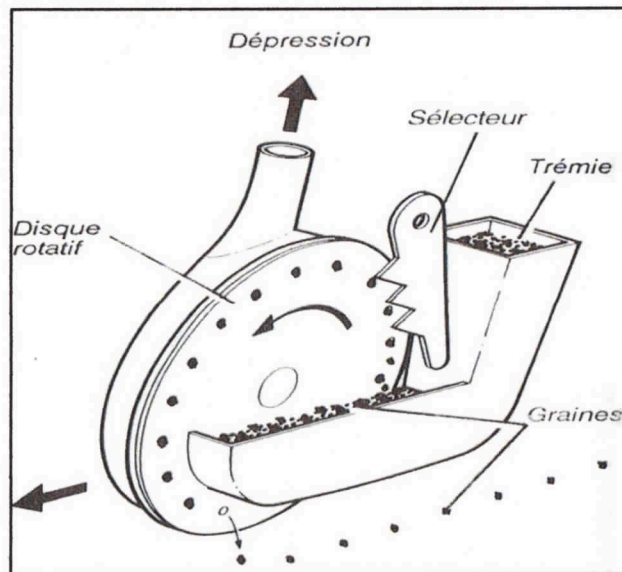


Figure 4.14 : Distribution du semoir de précision

Avec ce système de distribution, la prise des graines est pneumatiques (par dépression), la sélection est mécanique et le transport est tout d'abord pneumatique jusqu'au tube de semis, puis gravitaire pour atteindre le fond de sillon.

7.4 Les réglages du semoir monograinne

- **écartement des lignes de semis** : en fonction de l'espèce semée, la disposition sur le châssis et le nombre d'éléments semeurs peut être modifié.
- **densité de semis** : la vitesse de rotation et le nombre d'alvéoles des organes de distribution sont variables.
- **profondeur du semis** : est ajustable par la position du soc, des roues avant ou arrière de l'élément semeur.
- **réglages des traceurs**

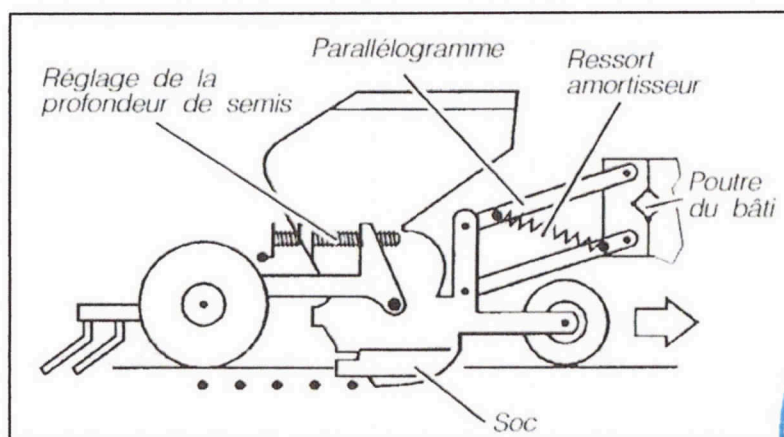




Figure 4.15 : Le réglage de la profondeur du semoir de précision

8 Le semoir de semis direct

Le semis direct fait partie des techniques culturales simplifiées, il consiste à ensemercer une parcelle en semant les graines directement dans le sol laissé par la culture précédente, pour être rentable et non préjudiciable pour le sol, cette technique doit être pratiquée dans des situations favorables.

les semoirs de semis direct possèdent quelques-unes, sinon l'ensemble des pièces suivantes:

- une trémie pour la semence, et si possible pour l'engrais, avec des mécanismes de distribution et des goulottes différents;
- un disque de nettoyage, pour enlever l'excédent de mulch sur les lignes de semis;
- un disque coupant pour trancher à travers les résidus;
- un disque (ou dent) ouvreur pour l'engrais;
- un disque ouvreur pour les semences;
- un disque (roue) de fermeture; ou
- une roue plumbeuse.

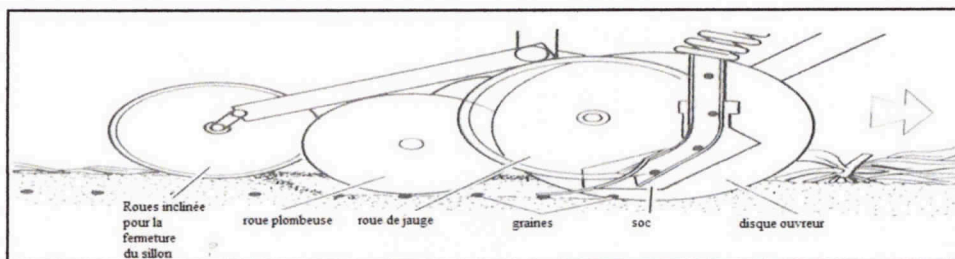


Figure 4.16 : Elément de semis direct

Nous allons maintenant étudier plus en détails ces pièces.

1. Disque nettoyeur

Dans certaines conditions, les semoirs de semis directs disposent d'un disque nettoyeur monté juste devant ou combiné au disque coupant (Encadré 1). Le disque nettoyeur facilite l'opération de semis dans les conditions tels que le mulch épais ou difficile à gérer, les semences fragiles, et dans les climats tempérés / froids pour préparer le sol.





Figure 4.16 : Disque nettoyeur associé au disque coupant

2. Le disque coupant

Un disque coupant est généralement nécessaire pour faire une ouverture nette des résidus et éviter l'accumulation des résidus autour de certaines pièces du semoir ou, pour éviter de presser les résidus dans la ligne de semis. Il est particulièrement utile lorsque la quantité de résidus sur le sol est importante et, lorsqu'on utilise un disque (dent) ouvreuse. L'efficacité du disque coupant dépend de plusieurs facteurs: les commentaires faits dans ce chapitre sur les performances du disque coupant avec les semoirs en traction animale sont les mêmes pour cette sous partie sur les tracteur, il faut s'y référer.

3. Le disque ouvreuse

Un sillon peut être ouvert par une dent ou une houe, un disque placé à un angle du sillon, des disques jumelés ou par une poinçonneuse. Généralement, le corps rayonneur est placé juste devant ou au bout de la goulotte des semences et de l'engrais. La performance du disque ouvreuse dépend de ses caractéristiques géométriques, la vitesse d'avancement, la texture et la densité du sol, la quantité de résidus et la pression exercée sur le sol par le semoir.

Les types de disque ouvreuse

- Une dent ou une houe. Généralement utilisée sur les sols qui ont forte résistance à la pénétration, mais ceci aboutit souvent à des problèmes avec l'obstruction des équipements par les résidus. Cet outil est donc difficile à utiliser sur des sols caillouteux, ou avec beaucoup de racines ou des souches d'arbres. Les ouvre-sillons, utilisé seul ou en combinaison avec les disques, sont généralement préférés pour les semoirs légers de semis direct attelés aux tracteur de faible puissance, leur bonne capacité de pénétration n'exigeant pas d'engins plus puissants.
- Des pulvérisateurs simples.

- Des disques jumelés, soit de même diamètre ou de diamètres différents sont placés de manière à former un angle en V. l'effet additionnel obtenu c'est que les résidus non



complètent tranchés par le disque coupant sont sectionnés par ces disques, réduisant ainsi l'obstruction du matériel. Le matériel a une faible capacité de pénétration du sol, surtout les sols argileux. Les disques de diamètres différents et des offsets à un essieu ont de bonne capacité de pénétration et d'auto-nettoyage que ceux de même diamètre.

• Il existe d'autres types d'ouvre-sillons tel que le T retourné et les sillons croisés. Les points de vue sont diversifiés sur les fonctions du corps rayonneur des semoirs/planteuses de semis direct. Aucun ne pense que l'ouvre sillon, tout en déposant la semence, réalise une préparation du lit de semence dans le sillon. Pour cette raison, certains agriculteurs utilisent souvent des ouvre-sillons en forme de houe, créant un grand mouvement sur le sol. Cette pratique entraîne des besoins en engins puissants pour la traction, une perte de l'humidité du sol et, la germination des semences des adventices peut être facilitée. Avec l'AC, il est préférable d'utiliser les corps rayonneurs qui sont conçus pour créer le moins de perturbation possible sur le sol, le résultat est le même que ces corps soient des dents ou des disques.(figure 4.17)



Figure 4.17 : Semis direct avec un rayonneur à disques jumelés, très faible perturbation de la structure du sol (à droite, une parcelle semée avec un semoir à houe).

3.1 Différents types de sillons

Les sillons peuvent avoir quatre formes:

- Le sillon en V
- Le sillon en U
- Le sillon en T inversé
- Le sillons croisés Les avantages des différentes formes de sillons et leurs effets sur la qualité de la germination ont été discutés dans la partie sur la traction animale, le lecteur doit s'y référer. La principale référence sur ce thème est le travail de Baker et al. (1996).



3.2 Les sillons en V

Les sillons en V sont presque toujours créés par des disques jumelés qui se touchent au niveau du bout avant, et sont ouverts à l'arrière. L'angle du V est généralement d'environ 10° . Chacun des disques pousse à peu près la même quantité de terre quand les deux disques sont montés avec un même angle à la verticale. Le plus grand avantage des doubles disques c'est leur aptitude à gérer les résidus sur la surface du sol, les cailloux et d'autres obstacles mineurs sans s'obstruer. Le montage est relativement simple, les dépenses pour la maintenance et l'entretien quasi nulles. Quand les marges avant des deux disques laissent une ouverture sur le sol, ceci peut favoriser l'enfouissement des résidus ou de la terre. Ceci peut être évité en:

- plaçant un troisième disque à l'avant, ou entre les deux disques jumelés, pour couper les résidus;
- ou en montant l'un des deux disques jumelés à l'avant de l'autre pour présenter un seul tranchant (disques offset, voir Figure 4.18).

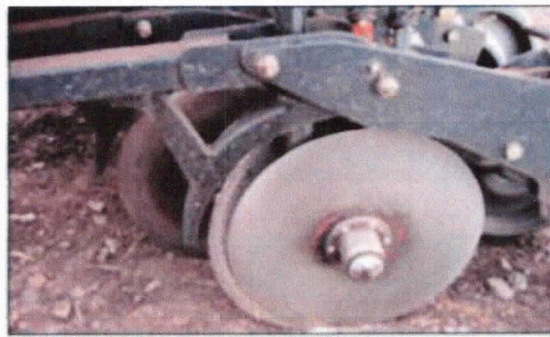


Figure 4.18 : Rayonneur avec doubles disques, ici avec un offset de disques pour améliorer la pénétration.

- ou en remplaçant l'un des deux disques par un autre disque plus petit, le disque plus grand devient le tranchant principal pour couper les résidus. (figure 4.19).

Chapitre 06 : Les machines de récolte de céréales

1 Introduction

La récolte des grains (céréales, oléoprotéagineux) est réalisée avec une **moissonneuse-batteuse**.

Celles des **racines et tubercules** fait appel à différentes machines (**arracheuse, effeuilleuse, décolleteuse..**) pouvant être utilisées les unes après les autres ou simultanément sous forme combinées. Les machines destinées à récolter **les fourrages** sont également très variées et dépendent notamment du type récolte (voie sèche ou humide).

2 Ensileuse

Les ensileuses ou récolteuses-hacheuses-chargeuses sont utilisées pour la récolte du fourrage vert (graminées, légumineuses, maïs) ou préfané (graminées, légumineuses ayant préalablement été fauchés et conditionnés). Le produit haché par l'ensileuse est ensuite tassé et stocké à l'abri de l'air pour se transformer en ensilage par fermentation.



Figure 6.1 : Ensileuse

3 La faucheuse

Les faucheuses réalisent la première étape de la récolte des fourrages : la coupe. Elles coupent les fourrages à la base de leurs tiges le plus nettement possible et laissent le produit en vrac sur le sol ou le plus souvent le disposent en lignes appelées andains. Les organes de fauche peuvent être placés en position avant, arrière voire latérale, et sont animés par la prise de force du tracteur.

6/ la quantité récupérée G est pesée à l'aide d'une balance.

Le débit (kg/min) est égal $Q = G/t$

Exemple numérique:

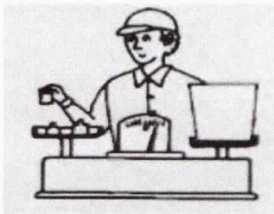
G = 30 kg

T = 1 min

Q = 30 kg/min

La quantité pesée reste supérieure à celle calculée (dans l'exemple numérique, elle est de 22 kg).

Dans ce cas il faut diminuer le débit (étape 4) de l'engrais en déplaçant le levier vers une graduation inférieure.





L = 11 m
 V = 6 km/h
 Q = 22 kg/min

4/ Positionner le levier de réglage du débit correspondant au débit calculé (étape 3). Suivre les recommandations du fabricant de l'épandeur (ou par tâtonnement en cas d'absence d'informations).

Exemple numérique:

Position 4 pour avoir un débit de 22 kg/min (voir tableau ci-dessus)

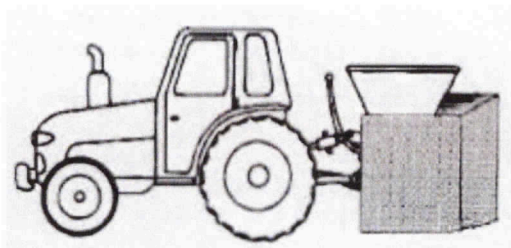


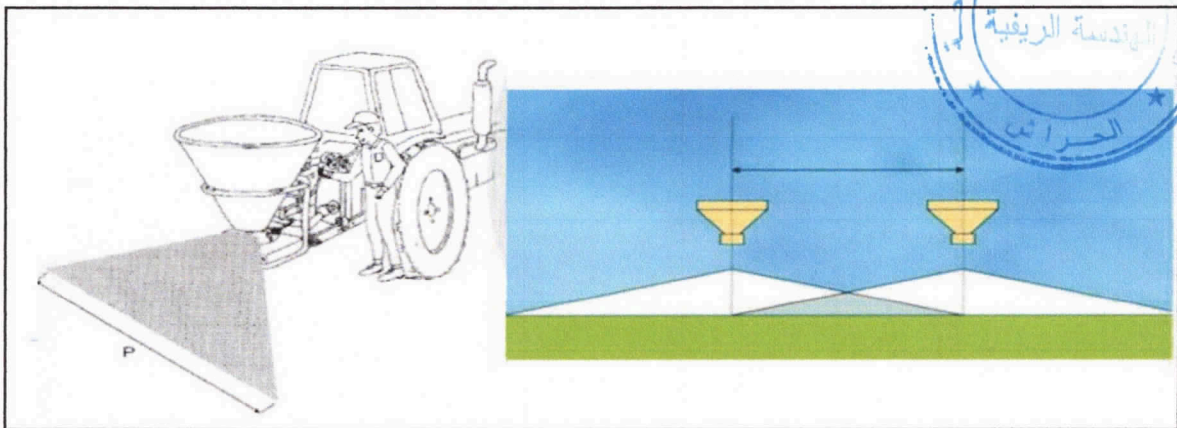
EXEMPLE DE TABLEAU D'ETALONNAGE D'UN EPANDEUR D'ENGRAIS

Position du levier	Débit de l'appareil (kg/ha)
2	10
3	15
4	22
5	33
6	41
7	51

5/ Mettre une quantité d'engrais dans la trémie, faire tourner la prise de force à 540 tr/min et laisser écouler l'engrais en ouvrant la vanne de réglage pendant un temps t donné.

A l'aide d'une bâche disposée derrière l'appareil, récupérer l'engrais projeté.





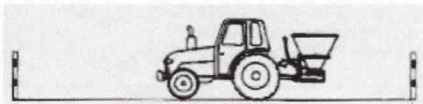
2/ mesurer la vitesse d'avancement du tracteur

Exemple numérique:

D = 100 m

T = 60 s

V = D/t = 100/60 = 6 km/h



3/ calculer le débit de l'épandeur (kg/min)

Quelle que soit la méthode utilisée, on applique la formule suivante :

$$q = \frac{V \times L \times D}{600}$$

Avec

- q = débit d'engrais s'écoulant des deux disques (kg/min)
- D = dose souhaitée (kg/ha)
- V = vitesse de travail (km/h)
- L = largeur de travail (m)
- 600 étant un coefficient prenant en compte les unités utilisées.

Exemple numérique:

D = 200 kg/ha



Afin d'étalonner précisément l'appareil à chaque changement d'engrais, des kits de contrôle sont disponibles et permettent de vérifier le débit réel et la largeur d'épandage.

2.1.3 Les réglages de l'épandeur d'engrais solide

❑ Réglage de l'horizontalité

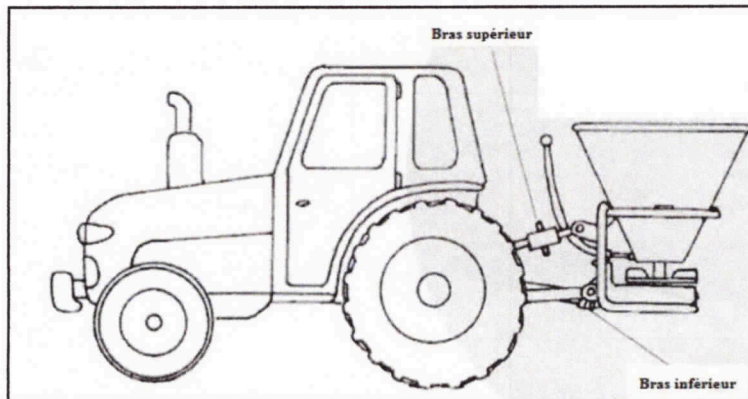


Figure 5.30 : Réglage de l'horizontalité

❑ Réglage de la hauteur

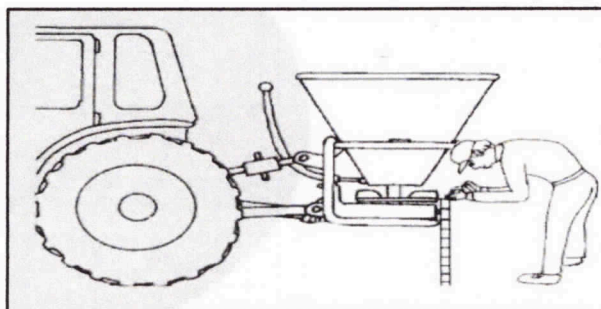


Figure 5.31 : Réglage de la hauteur

❑ Réglage de la dose d'engrais à l'hectare

1/ Détermination de la largeur de travail

Mesurer visuellement la largeur totale d'épandage du distributeur

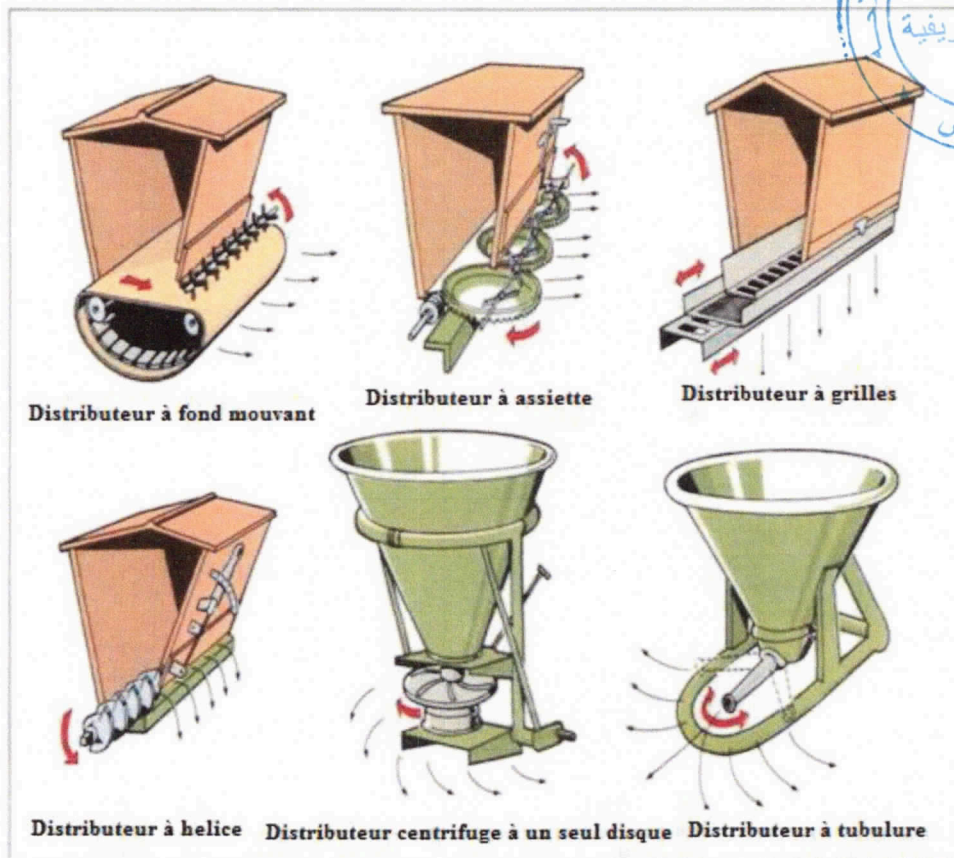


Figure 5.29 : Schéma de principe des principaux distributeurs d'engrais solides

Ce sont les appareils les plus utilisés (pour l'épandage généralisé) en raison de leur faible coût, leur **simplicité** et leur **bon rendement**. En revanche ils sont assez délicats à régler précisément. Ils sont généralement portés (capacité de la trémie : 400 à 2000 L) ou semi-portés (capacité de la trémie: jusqu'à 10 000 L).

En sortant de la trémie, les particules d'engrais percutent 1 ou 2 **disques à palettes** en rotation rapide qui les projettent par **force centrifuge**. L'alimentation des organes de distribution se fait soit par gravité, soit par vis à entraînement hydraulique ou encore par un tapis commandé par une roue roulant au sol. Le mouvement des disques (en sens inverse) est généralement assuré par la prise de force.

L'agriculteur peut agir sur :

- **le débit** : en modifiant l'ouverture de la trappe de dosage, ou bien en faisant varier la vitesse de rotation des vis ou des tapis d'alimentation.
- **la largeur du travail** : en changeant la hauteur et l'inclinaison des disques, l'orientation des palettes des disques, le point d'arrivée de l'engrais sur les disques.

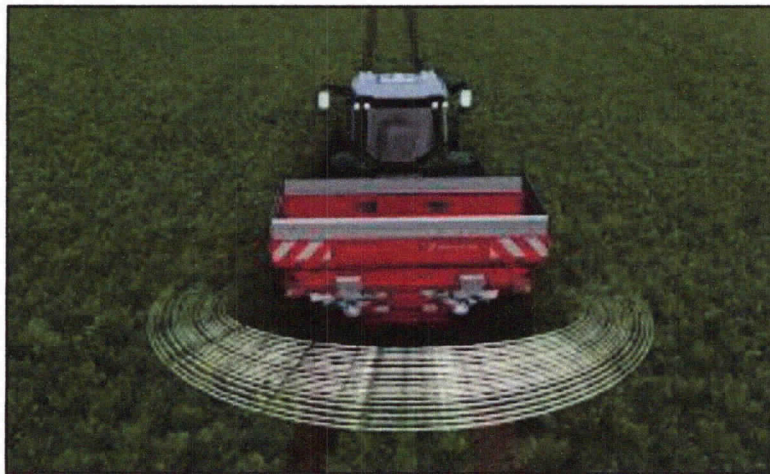


Figure 5.27 : Spectre d'action d'un epandeur d'engrais solide

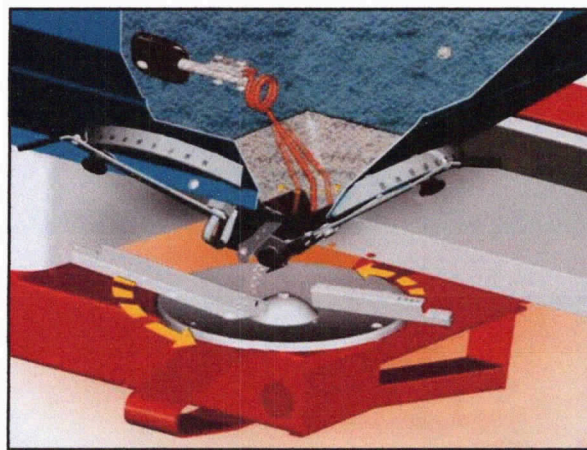


Figure 5.28 : Fonctionnement de la distribution de l'épandeur





Figure 5.24 : Organe constitutifs d'un épandeur d'engrais solide

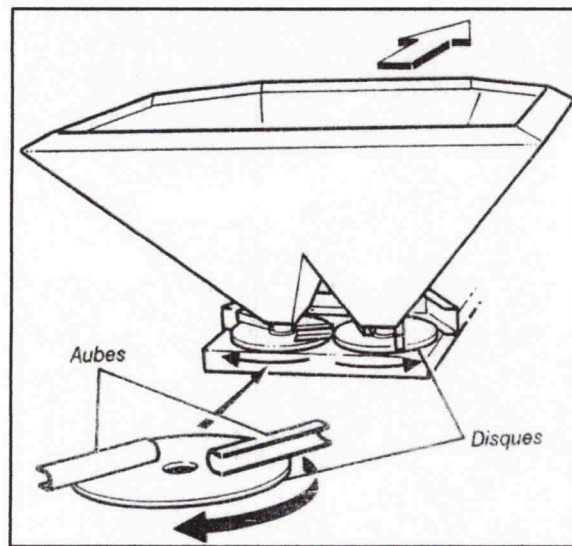


Figure 5.25 : Schéma d'un épandeur à double disque

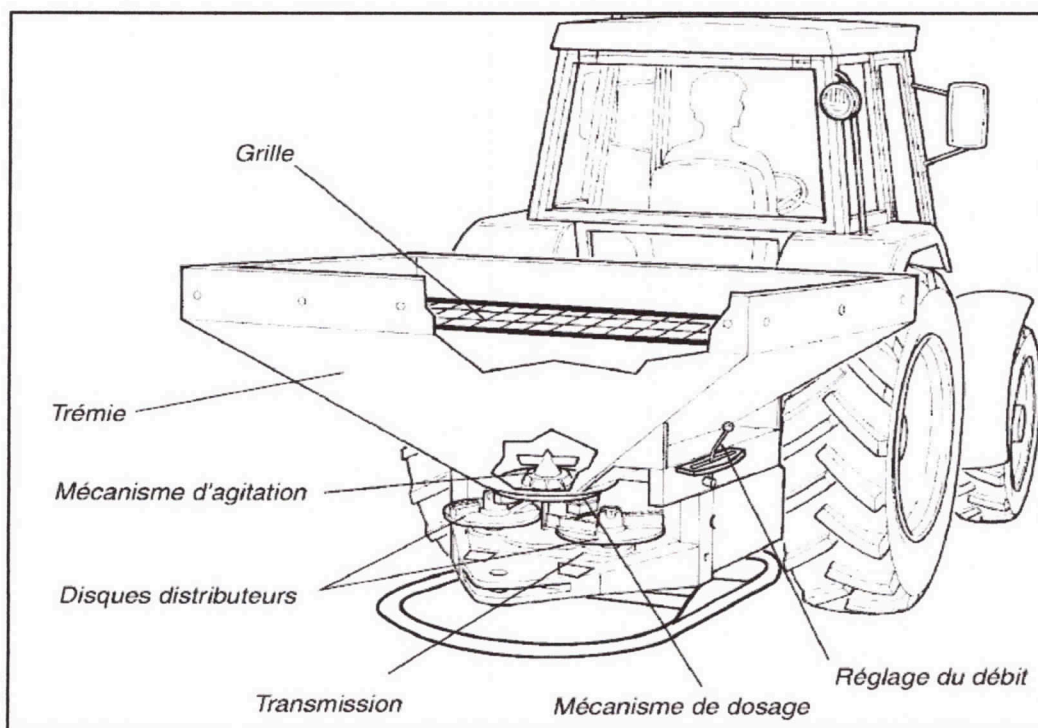


Figure 5.26 : Schéma des organes constitutif d'un épandeur d'engrais à double disque





2.1 Distributeur ou épandeur d'engrais solide

2.1.1 Fonction

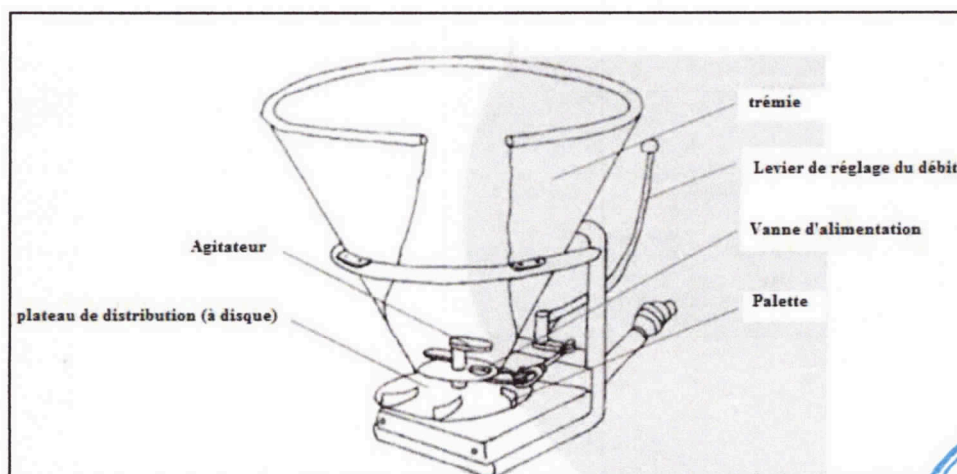
Les distributeurs d'engrais permettent d'épandre une quantité déterminée d'**engrais solides** sur une partie (épandage localisé) ou plus souvent sur la totalité (épandage généralisé) de la parcelle.



Figure 5.23 : Epandeur d'engrais solide

2.1.2 Les éléments constitutifs

- Les éléments de base de tout distributeur d'engrais sont : un **système de liaison avec le tracteur**, les distributeurs pouvant être portés, semi-portés ou traînés,
- une **trémie** dans laquelle sont stockée les particules d'engrais,
- un **système de distribution** assurant la répartition de l'engrais sur le sol. Pour rester constant, le débit d'épandage doit être proportionnel à l'avancement, grâce à un entraînement à partir d'une des roues du distributeur d'engrais.
- un **système de transfert et des organes de sortie** sont présents sur certains types de distributeurs





Modèle	Débit (l/min)	Pression (bar)	Type	Débit (l/min) à 30 cm													
				4 km/h	5 km/h	6 km/h	7 km/h	8 km/h	10 km/h	12 km/h	16 km/h	18 km/h	20 km/h	25 km/h	30 km/h	35 km/h	
XR9001	1,0	M	F	0,22	69,0	55,2	46,0	39,4	34,5	27,6	23,0	17,3	13,8	11,0	9,2	7,9	7,0
	1,5	M	F	0,28	84,0	67,2	56,0	48,0	42,0	33,6	28,0	21,0	16,8	13,8	11,5	9,6	8,5
	2,0	M	F	0,32	96,0	76,8	64,0	54,0	48,0	38,4	32,0	24,0	19,2	15,4	12,8	11,0	9,6
	2,5	M	F	0,36	108,0	86,4	72,0	61,0	54,0	43,2	36,0	27,0	21,6	17,3	14,4	12,3	10,5
XR11001 (ISO)	1,0	M	F	0,29	117,0	93,6	78,0	66,0	58,0	46,8	39,0	29,0	23,0	18,0	15,0	12,5	11,0
	1,5	M	F	0,42	126,0	100,8	84,0	72,0	63,0	50,4	42,0	31,0	25,0	20,0	16,5	14,0	12,0
	2,0	M	F	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	2,5	M	F	0,54	162,0	130,0	108,0	92,0	81,0	64,8	54,0	40,5	36,0	32,0	26,0	22,0	19,0
XR20015	1,0	M	F	0,34	102,0	81,6	68,0	58,0	51,0	40,8	34,0	25,5	22,0	17,0	14,5	12,5	11,0
	1,5	M	F	0,42	126,0	100,8	84,0	72,0	63,0	50,4	42,0	31,0	25,0	20,0	16,5	14,0	12,0
	2,0	M	F	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	2,5	M	F	0,54	162,0	130,0	108,0	92,0	81,0	64,8	54,0	40,5	36,0	32,0	26,0	22,0	19,0
XR11001S	1,0	M	F	0,34	102,0	81,6	68,0	58,0	51,0	40,8	34,0	25,5	22,0	17,0	14,5	12,5	11,0
	1,5	M	F	0,42	126,0	100,8	84,0	72,0	63,0	50,4	42,0	31,0	25,0	20,0	16,5	14,0	12,0
	2,0	M	F	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	2,5	M	F	0,54	162,0	130,0	108,0	92,0	81,0	64,8	54,0	40,5	36,0	32,0	26,0	22,0	19,0
XR2002	1,0	M	M	0,46	138,0	110,4	92,0	78,0	69,0	55,2	46,0	34,5	30,0	22,0	18,5	16,0	14,0
	1,5	M	M	0,56	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	2,0	M	M	0,65	195,0	156,0	130,0	111,0	97,5	78,0	65,0	49,0	43,0	32,0	27,0	23,5	20,5
	2,5	M	M	0,72	216,0	172,8	144,0	123,0	108,0	86,4	72,0	54,0	48,0	36,0	30,0	26,0	22,5
XR11002 (ISO)	1,0	M	M	0,42	126,0	100,8	84,0	72,0	63,0	50,4	42,0	31,0	25,0	20,0	16,5	14,0	12,0
	1,5	M	M	0,51	157,5	126,0	105,0	90,0	78,5	62,8	51,5	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	2,0	M	M	0,59	177,0	141,6	117,0	100,0	88,5	70,0	57,0	43,5	39,0	29,0	24,5	21,0	18,0
	2,5	M	M	0,68	204,0	163,2	136,0	117,0	102,0	81,6	68,0	51,0	45,0	34,0	30,0	26,0	22,5
XR11002S	1,0	M	M	0,46	138,0	110,4	92,0	78,0	69,0	55,2	46,0	34,5	30,0	22,0	18,5	16,0	14,0
	1,5	M	M	0,56	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	2,0	M	M	0,65	195,0	156,0	130,0	111,0	97,5	78,0	65,0	49,0	43,0	32,0	27,0	23,5	20,5
	2,5	M	M	0,72	216,0	172,8	144,0	123,0	108,0	86,4	72,0	54,0	48,0	36,0	30,0	26,0	22,5
XR2003	1,0	M	M	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	1,5	M	M	0,56	168,0	134,4	112,0	96,0	84,0	67,2	56,0	42,0	36,0	28,0	23,0	20,0	17,5
	2,0	M	M	0,65	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,72	216,0	172,8	144,0	123,0	108,0	86,4	72,0	54,0	48,0	36,0	30,0	26,0	22,5
XR11003 (ISO)	1,0	M	M	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	1,5	M	M	0,56	168,0	134,4	112,0	96,0	84,0	67,2	56,0	42,0	36,0	28,0	23,0	20,0	17,5
	2,0	M	M	0,65	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,72	216,0	172,8	144,0	123,0	108,0	86,4	72,0	54,0	48,0	36,0	30,0	26,0	22,5
XR2004	1,0	M	M	0,48	144,0	115,2	96,0	82,0	72,0	57,6	48,0	36,0	30,0	24,0	20,0	17,0	14,5
	1,5	M	M	0,56	168,0	134,4	112,0	96,0	84,0	67,2	56,0	42,0	36,0	28,0	23,0	20,0	17,5
	2,0	M	M	0,65	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,72	216,0	172,8	144,0	123,0	108,0	86,4	72,0	54,0	48,0	36,0	30,0	26,0	22,5
XR11004 (ISO)	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR2005	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR11005 (ISO)	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR2006	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR11006 (ISO)	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR2007	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR11007 (ISO)	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0	62,4	51,0	37,5	33,0	24,0	20,0	17,5	15,5
	1,5	M	M	0,61	189,0	151,2	126,0	108,0	95,0	76,0	63,0	46,5	41,0	30,0	25,0	21,5	18,5
	2,0	M	M	0,69	210,0	168,0	140,0	120,0	105,0	84,0	70,0	52,0	45,0	34,0	29,0	25,0	21,5
	2,5	M	M	0,78	234,0	187,2	156,0	132,0	117,0	93,6	78,0	58,0	51,0	38,0	32,0	28,0	24,0
XR2008	1,0	M	M	0,52	156,0	124,8	104,0	89,0	78,0								



- Vérifier l'uniformité de débit des buses en mesurant le débit de chaque buse (récipient gradué et chrono). Établir une moyenne des débits. Nettoyer ou changer les buses dont le débit est sup. ou inf. de 10% de cette moy.

Le pulvérisateur est l'appareil le plus utilisé sur une exploitation agricole. De par son utilisation intensive, il perd en précision. Il est donc nécessaire de le ré-étalonner au minimum une fois par an (ou 2 fois par an pour une utilisation intensive répartie sur une bonne partie de l'année) pour être certain d'appliquer la bonne dose au bon endroit. Le réglage du pulvérisateur est une démarche simple à réaliser et peu coûteuse en temps mais qui peut entraîner de lourds préjudices financiers si elle n'est pas correctement réalisée. Gagner en précision permet également de limiter les risques de contamination de l'applicateur.

L'objectif de la pulvérisation est d'appliquer un volume précis de bouillie à l'hectare, avec une répartition la plus régulière possible et avec une taille et une homogénéité de gouttes ainsi qu'un nombre d'impacts appropriés à la culture et au type de traitement.

L'objectif de ce qui suit est d'expliquer comment vérifier que le volume/ha souhaité est bien celui pulvérisé :

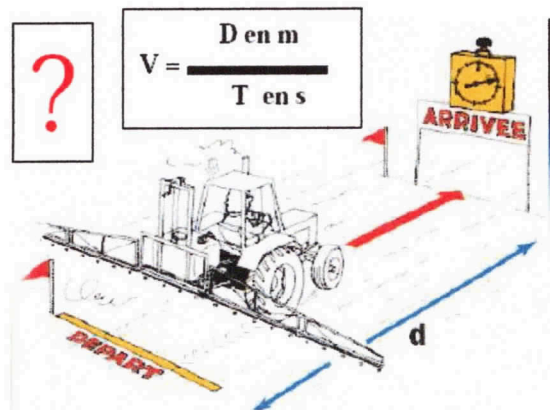
Prenons un exemple:

Sachant que je veux appliquer un volume/hectare Q de 156 litres/ha, que ma rampe est de largeur L = 24 m et que mon tracteur avance à la vitesse V = 7 km/h, **quel doit être le débit de mon pulvérisateur ? Et comment le vérifier ?**

L'étalonnage du débit d'un pulvérisateur
 Si on connaît le volume /ha (Q) à appliquer et la vitesse (V), on calcule la valeur du débit du pulvérisateur (D souhaité) en tenant compte de la largeur de travail (L). La formule est la suivante :

$$D \text{ souhaité} = \frac{Q \times L \times V}{600} = \text{en L/mn}$$

volume à appliquer = en Litre /ha
 largeur de travail = en mètre
 vitesse = en Km/h
 On peut ensuite choisir le calibre de la buse adaptée dans les tableaux constructeurs.



Dans notre exemple, D = (156 × 24 × 7 / 600) = 42 litres/minute.

Si je prends des buses à fente de 110° espacées de 50 cm, alors sur ma rampe j'ai n= 48 buses. Le débit de chaque buse est donc de d (= D/ n = 42 / 48) = 0,91 litre/min.

Déterminer la buse à utiliser et la pression d'utilisation:



Figure 5.21 : Fonctionnement d'un pulvérisateur à jet porté

1.4.3 Les pulvérisateurs pneumatiques

Un courant d'air divise le jet et porte les gouttes formées. Ces appareils sont notamment utilisés en viticulture.



Figure 5.21 : Pulvérisateur pneumatique à dos (à gauche), et pulvérisateur pneumatique enjambeur (à droite).

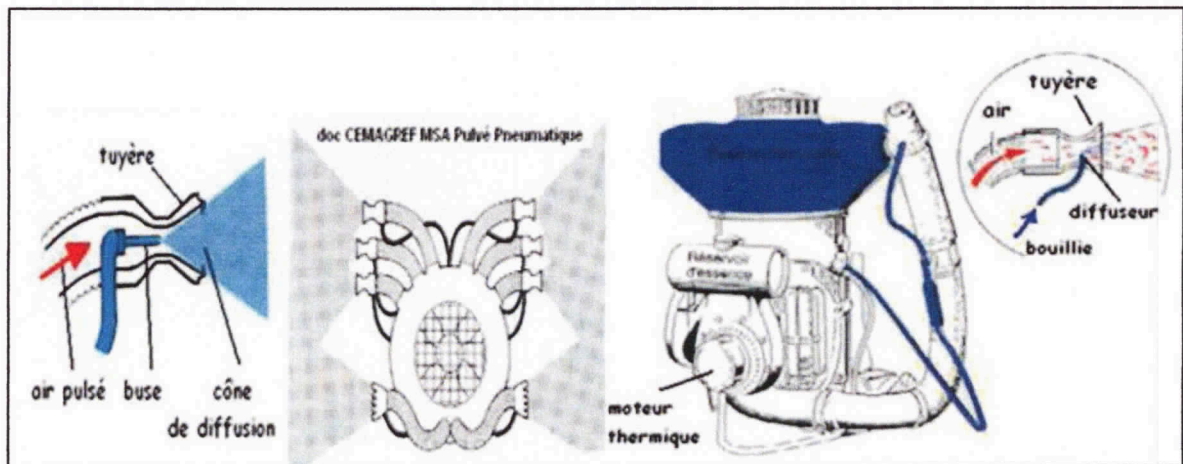


Figure 5.22 : Fonctionnement du pulvérisateur pneumatique

1.5 Les réglages du pulvérisateur

- Vérifier la pression des pneus du pulvérisateur
- Vérifier l'état de la tuyauterie (fuites)
- Régler la hauteur de la rampe
- Mettre le moteur au régime nominal

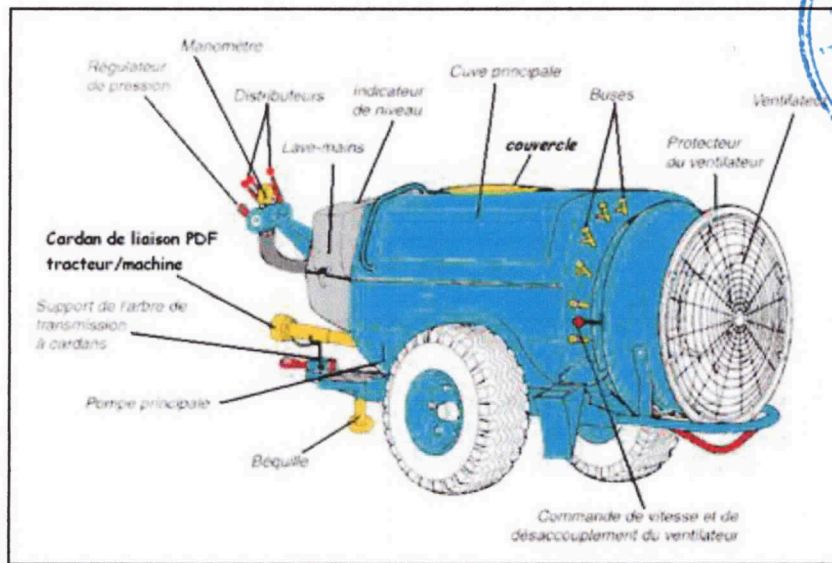
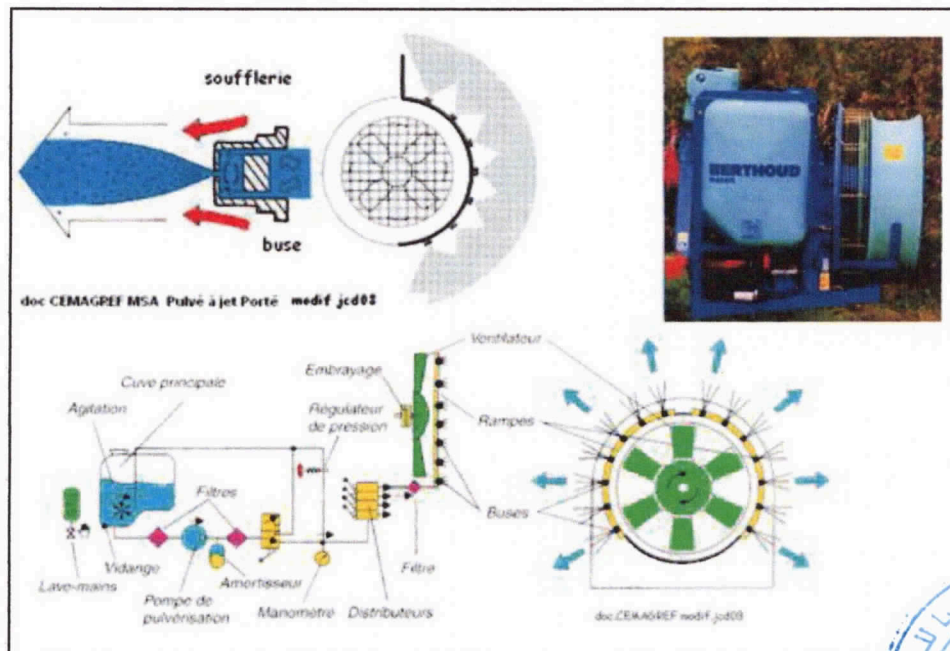


Figure 5.20 : Pulvérisateur à jet porté

La **pression de pulvérisation** est identique au système à jet projeté. Les éléments composants ce système sont donc les mêmes que le précédent (cuve, pompe, circuit hydraulique, buse)

Les buses sont disposées suivant un cercle ou arc de cercle. Derrière on installe un puissant ventilateur (grand débit d'air sous une vitesse plutôt faible 15 à 40 m/s). Les fines gouttelettes sont portées par le flux d'air qui arrive à l'arrière.





1.3.8 Le régulateur ou limiteur de pression

Il assure la stabilité de la pression dans le circuit à une valeur déterminée par l'utilisateur.

- Il permet de déterminer le débit de l'appareil en fonction du diamètre des buses
- Il permet de protéger le circuit contre des « surpressions »
- Il maintient la pression en cas de sur ou sous régime.

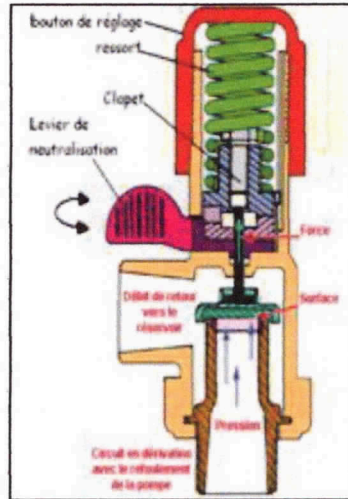


Figure 5.19 : Fonctionnement du régulateur

1.4 Les différents types de pulvérisateurs

1.4.1 Les pulvérisateurs à jet projeté

L'énergie potentielle du liquide, mis sous pression par la pompe, est utilisée pour le transformer en gouttes (division par pression de liquide) et pour transporter celles-ci jusqu'à la cible (transport par jet projeté) par l'intermédiaire de buses.

1.4.2 Les pulvérisateurs à jet porté

Ils sont très utilisés en arboriculture, dans les vignes. Ce principe consiste en un système à jet projeté auquel on ajoute une ventilation (un courant d'air) à la sortie des gouttelettes. On augmente la portée et la pénétration des gouttelettes.



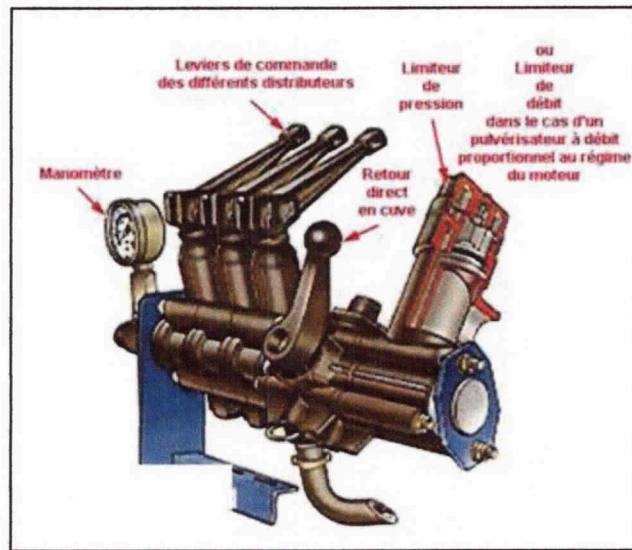


Figure 5.17 : Le distributeur

1.3.7 Amortisseurs ou cloche à air

Lors de la phase de refoulement le débit fourni par la pompe est suffisant pour:

- Alimenter les buses sur les rampes.
- Assurer un débit de retour qui permet le brossage en cuve.
- S'équilibrer avec la pression dans l'amortisseur.

Par contre lors de la phase d'aspiration, la pression de gonflage de l'amortisseur va compenser la dépression de l'aspiration. Ceci permet de maintenir constant le débit des pompes basées sur un système alternatif de fonctionnement.

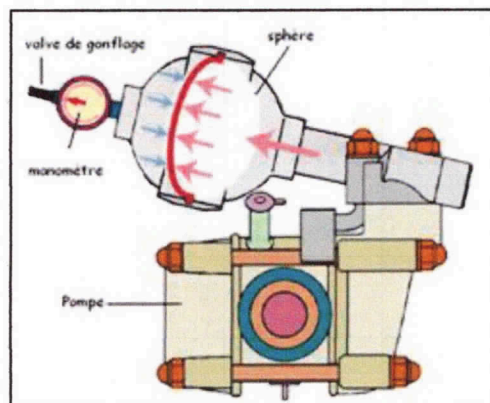


Figure 5.18 : Fonctionnement de l'amortisseur



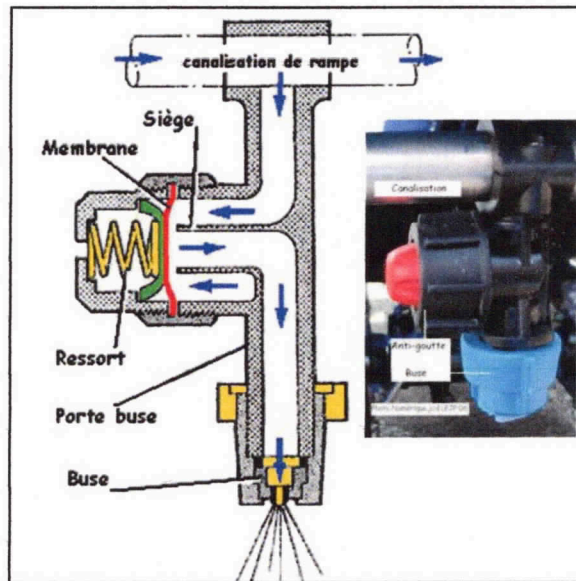


Figure 5.15 : Fonctionnement de l'anti-goutte

1.3.5 Le contrôle de la pression, le manomètre.

Le manomètre permet la lecture d'une pression exercée par un liquide ou un gaz dans un système.

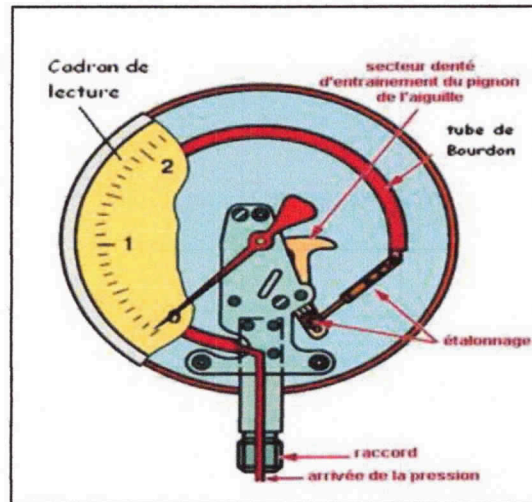


Figure 5.16 : Manomètre

1.3.6 L'ensemble de distribution, le distributeur

Le distributeur est situé entre la rampe et la distribution finale sur les rampes. A côté on trouve généralement le limiteur de pression et un manomètre.



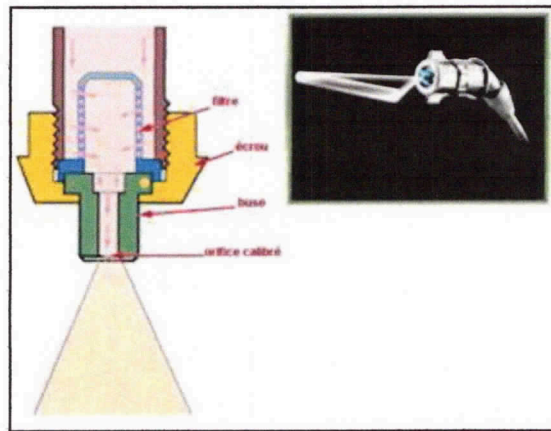


Figure 5.14 : Fonctionnement d'une buse à fente

Types de buses	Caractéristiques (forme du jet, angles de pulvérisation, gamme de pressions)	Utilisation
Buse à fente	L'orifice calibré se termine par une fente, elles produisent ou un "jet plat" ou "un jet pinceau" dont l'angle varie de 60 à 80°, P : 2 à 3 bars.	Répartition régulière sur sol nu ou faiblement couvert (herbicide et fongicide systémique)
Buse à chambre de turbulence	Le liquide reçoit un mouvement tourbillonnaire avant de sortir sous la forme d'un jet conique creux de 20 à 80°. Elles produisent un brouillard fin et pénétrant 2 à 20 bars	Couverture de végétation développés, en particulier arboricoles et viticoles (fongicide et insecticides)
Buse à miroir	ont un jet en forme d'éventail dont l'angle est d'environ 120°. Ces buses auront donc une bonne répartition au sol et conviennent bien pour l'épandage d'engrais liquide 0,5 à 1,5 bars.	Ces buses auront donc une bonne répartition au sol et conviennent bien pour l'épandage d'engrais liquide

- ❑ **Le rôle de l'anti goutte** est de maintenir le liquide dans la rampe lorsqu'elle n'est pas sous pression et d'éviter les coulures intempestives notamment à l'arrêt. A l'arrêt de la pression, le ressort de tarage prend le dessus et plaque la membrane sur le siège.



Figure 5.12 : Vue éclatée d'une buse à turbulence

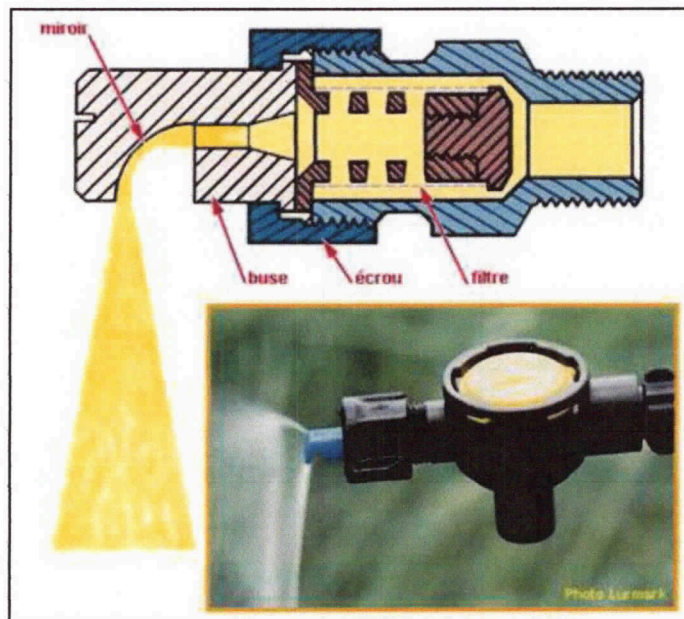


Figure 5.13 : Fonctionnement d'une buse à miroir





1.3.4 Système de division du liquide en gouttelettes

1.3.4.1 Les buses:

la buse est l'élément final de la pulvérisation. La colonne de bouillie sous pression bute sur l'intérieur de la buse. La colonne sous pression en butée, engendre un mouvement tourbillonnaire du liquide qui va se fractionner en créant un « spectre de diffusion » tourbillonnant. Ce phénomène permet une meilleure pénétration et un meilleur mouillage des plantes à traiter. Cette buse peut-être composée de différentes pièces (pastilles calibrées, insert en vrille, à chambre de turbulence, filtre, écrou...). Les buses sont Normalisées ISO* en ce qui concerne leur codification, couleurs et dimensions extérieures.

Le type de buse, son calibre et l'angle de pulvérisation sont identifiés sur la buse. Le débit est exprimé en Gallons par minute mesuré à 3 bars de pression. Pour obtenir le débit en l/mn, il suffit de multiplier le chiffre par 0,4. (Ex. La couleur permet de vérifier qu'elles sont toutes identiques sur même rampe). Toujours se reporter aux « tableaux de caractéristiques et de débits » des marques.

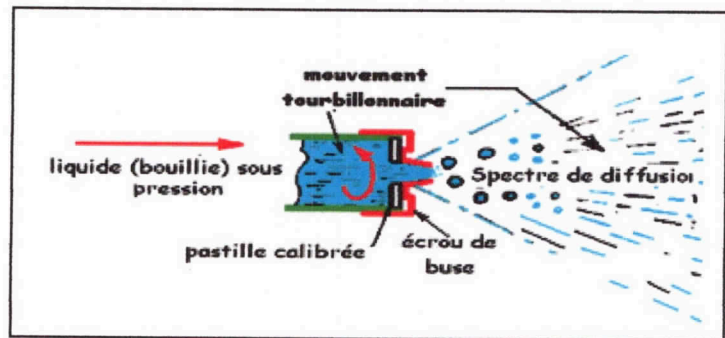


Figure 5.11 : Principe de fonctionnement d'une buse à turbulence





doit être doté d'un système de suspension pendulaire, pour que les extrémités de la rampe ne puissent toucher le sol lorsque celui-ci est accidenté.

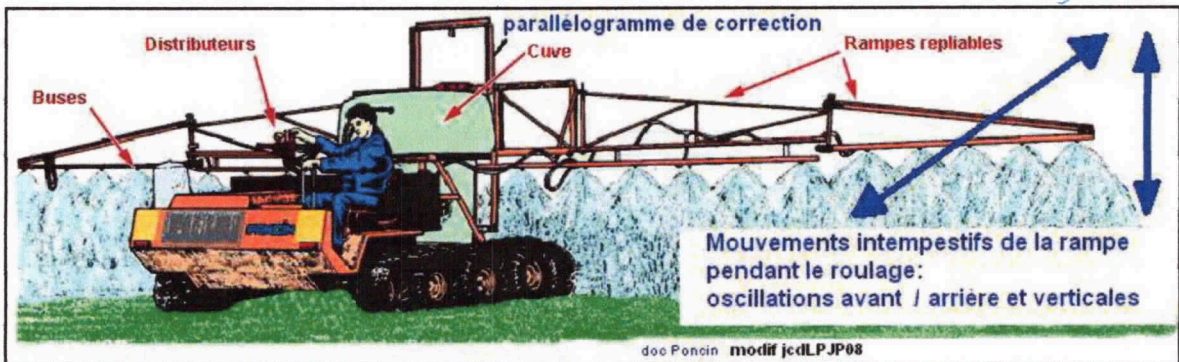


Figure 5.8 : Schéma d'une rampe des grandes culture



Figure 5.9 : Rampe Montée sur un quad

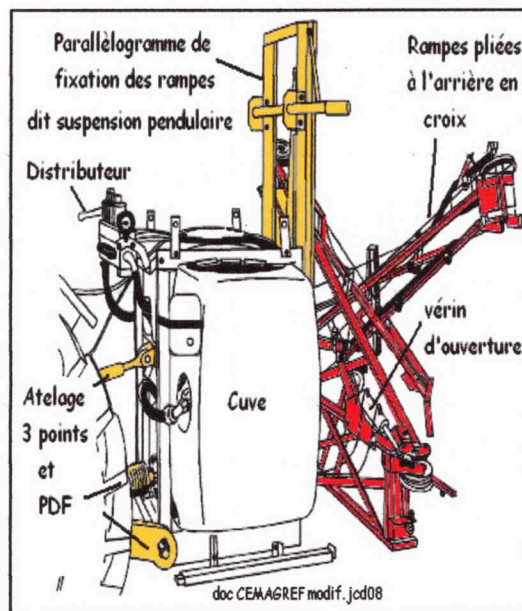


Figure 5.10 : Organes constitutifs d'un pulvérisateur à rampe





Figure 5.7 : Cuve du pulvérisateur

1.3.2 Système de distribution

Il s'agit d'une pompe qui a pour rôle de :

- **prélever** une quantité donnée de liquide dans la cuve et de la débiter dans le système de transfert du liquide sous une pression déterminée,
- **brasser** le liquide de la cuve,
- **remplir** le pulvérisateur (sur les petits appareils, car une deuxième pompe se charge de cette opération sur les appareils plus gros).

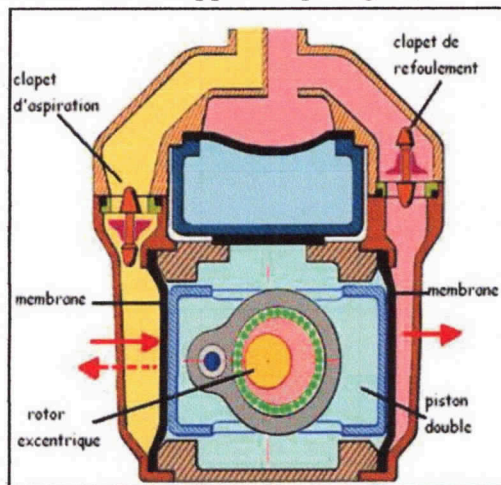


Figure 5.7 : Fonctionnement d'unr pompe piston membrane

1.3.2.1 Les pompes à double piston et membranes

Le piston est encadré par deux membranes. Donc pendant le mouvement alternatif de ce piston, une membrane est en phase d'aspiration, l'autre est en phase de refoulement. Un clapet d'aspiration et un clapet de refoulement permettent l'entrée et la sortie de la bouillie. Cette pompe présente les avantages réunis de la pompe à piston et de celle de la pompe à membrane. Elle est très utilisée, elle permet des pressions de 20 à 40 bars

1.3.3 Système de transfert du liquide

La rampe correspond à la canalisation supportant les buses et est fixée sur un bâti ou support de rampe (lui même rattaché à un cadre) qui permet l'articulation de la rampe et son réglage en hauteur. Les rampes sont de largeurs variables (de 6 à 40 m) en fonction de la capacité de la cuve, les autoporteurs possédant donc des rampes de largeurs importantes.

La rampe doit être parallèle au sol et réglable en hauteur. Le but est d'avoir un traitement uniforme et d'éviter que la "bouillie dérive", la hauteur doit être établie en fonction du type de buse, de l'angle de pulvérisation, de l'espacement entre les buses et de la hauteur de la culture à traiter. Quand la largeur de travail est supérieure à 10m, le pulvérisateur



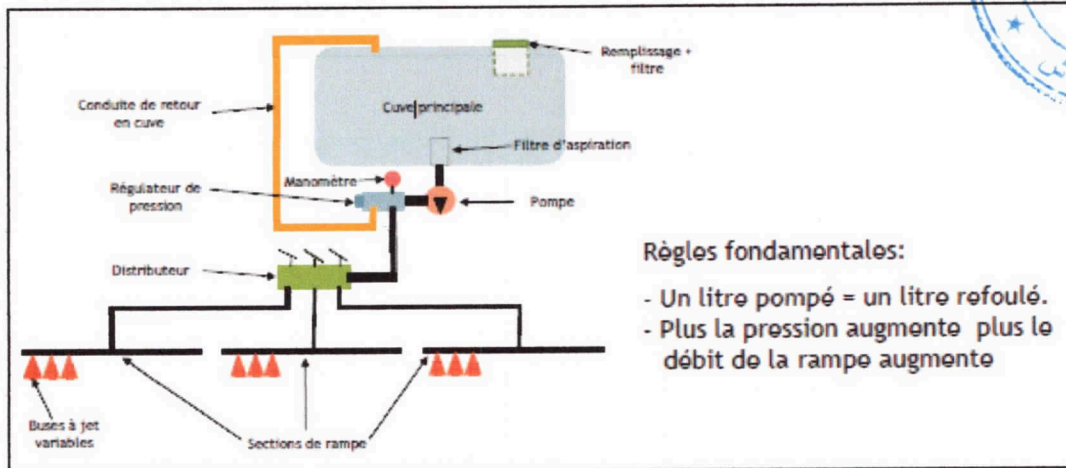


Figure 5.6 : Circuit du pulvérisateur

1.3.1 La cuve

Organe de stockage du produit de capacité variable (de 200 à 6000L), les automoteurs possédant les plus fortes capacités, devant respectivement les pulvérisateurs intégrables, traînés puis portés.

Elle est réalisée en PVC, polyester...elle doit être inaltérable aux produits chimiques qu'elle va contenir. Elle doit avoir une forme facilitant son nettoyage, son entretien sa vidange. Un bouchon ou couvercle étanche assure sa fermeture, il surmonte un filtre en forme d'entonnoir. Certaines cuves sont présurisées et doivent avoir une soupape ou clapet de sécurité. Les appareils professionnels doivent avoir un petit réservoir avec de l'eau propre.

Afin de maintenir la bouillie parfaitement mélangée, on trouve à l'intérieur de cette cuve **des systèmes d'agitation**. : soit un système mécanique (hélice, batte mécanique...) soit un système hydraulique par retour du liquide par ex.

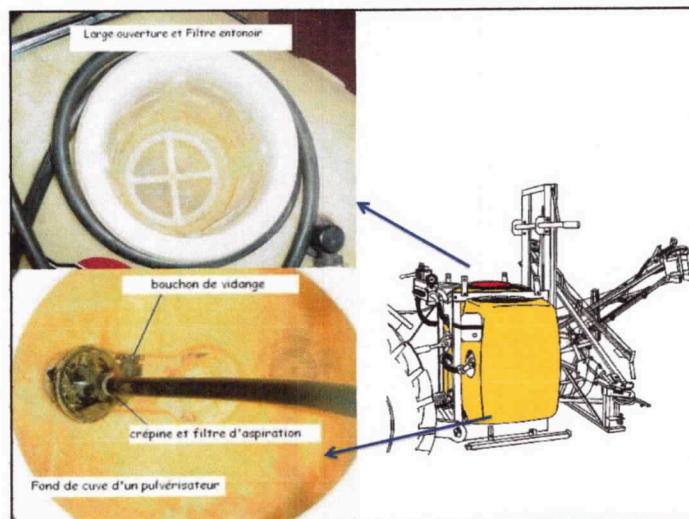




Figure 5.4 : Pulvérisateurs automoteurs

1.3 Constitution du pulvérisateur à jet projeté et principes de fonctionnement

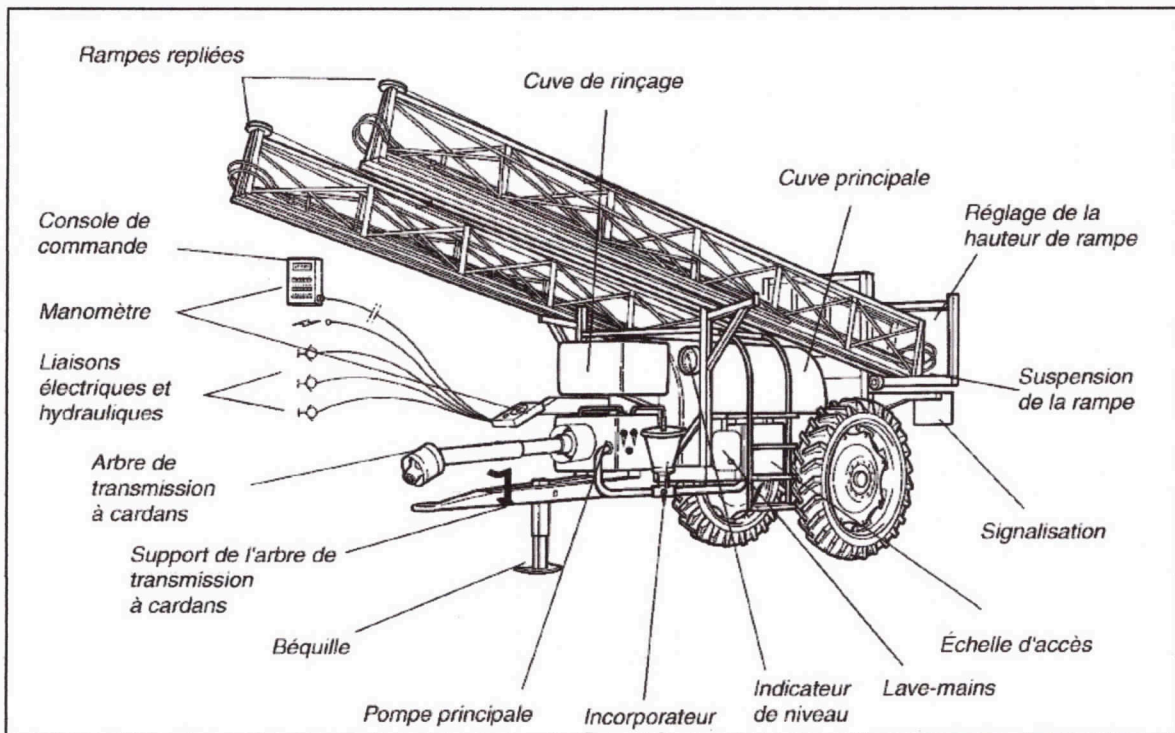


Figure 5.5 : Organe constitutif d'un pulvérisateur à jet projeté





Figure 5.1 : Pulvérisateur à dos

- **portés** sur un tracteur, microtracteur, sur un quad, un transporteur, sur chariot, sur brouette



Figure 5.2 : Pulvérisateur porté

- **semi-portés** donc possédant un essieu et tracté par un engin.



Figure 5.3 : Pulvérisateur semi porté

- **automoteurs** et même aussi aérien en agricole de grande culture.





Chapitre 05 : Matériel de traitement et de fertilisation

1 La pulvérisation

1.1 Introduction

Les productions végétales herbacées ou ligneuses sont constamment menacées par des parasites, des maladies, des mauvaises herbes ou arbustes qui limitent leur développement ou leur vie. Il faut donc « traiter, soigner, protéger » ces productions en appliquant des **produits dits phytosanitaires : ce sont les herbicides, fongicides, insecticides, ect**

Les produits de traitements phytosanitaires utilisés peuvent devenir dangereux pour la nature et l'homme, ils doivent être dosés avec précaution et répandus avec précision de façon très uniforme. La pulvérisation a donc pour rôle de fractionner la bouillie (La « bouillie » est le nom donné au mélange eau plus produit phytosanitaire actif à pulvériser) en gouttelettes extrêmement fines (rôle des buses), ceci permet de répartir cette bouillie sur une surface maximum mais avec un minimum de liquide (donc de principe actif).

Le milieu des Espaces Verts utilise surtout des petits systèmes de pulvérisation de type portable ou porté avec moteur auxiliaire. **Pour des raisons écologiques**, on note aussi une percée importante des moyens tel que désherbeurs thermiques à flamme directe, à eau chaude, à mousse ou désherbeurs mécaniques tels brosses rotatives à fils synthétique ou métallique.

Il existe donc différents systèmes de pulvérisateurs et procédés de pulvérisation

1.2 Fonction du pulvérisateur

Un pulvérisateur sert à **épandre** une certaine dose de produits phytosanitaires ou d'engrais **liquide** sous forme de **fines gouttelettes** en les répartissant uniformément sur une cible (le sol, le peuplement cultivé, des adventices...).

Les différentes catégories de pulvérisateurs sont :

- **portables** à main ou sur le dos





Figure 4.26 : Semoir en lignes de semis direct mécanique

4.2 Le semis de précision

Une seule ou un nombre prédéterminé de semences sont enterrées sur la ligne avec un espacement prédéterminé.



Figure 4.27 : Semoir pneumatique de semis direct avec deux dispositifs centraux de mesure et de distribution.

Cette méthode est généralement utilisée pour les cultures semées en lignes tel que le maïs, le haricot, le coton, le tournesol etc. Le nombre de semences par poquet et la distance entre poquets sont déterminés par le plateau qui a des crans ou des alvéoles pour mesurer la quantité de semence. La mesure peut être mécanique ou pneumatique, dans ce dernier cas l'air est soit aspiré ou pressurisé pour choisir le nombre de semences par poquet.





Figure 4.24 : Un semoir à poinçonneuse rotative (semoir à roue étoilée)



Figure 4.25 : Détail semoir à poinçonneuse rotative.

4. Semoirs

Les différentes semences exigent diverses techniques de semis. Il existe deux techniques les plus courantes.

4.1 Le semis en lignes

La semence est enterrée suivant une bande continue dans la ligne de semis. Cette méthode est souvent utilisée pour les plantes à petites graines comme les céréales. La quantité de semences est mesurée par des rouleaux d'alimentation de différents modèles, qui sont positionné soit de manière à avoir un rouleau par ligne de semis et alimentation gravitaire), ou alimentation centrale avec une distribution pneumatique de la semence sur les lignes. Les engins utilisés pour ce type de semis sont généralement appelés semoirs en ligne ou semoir.



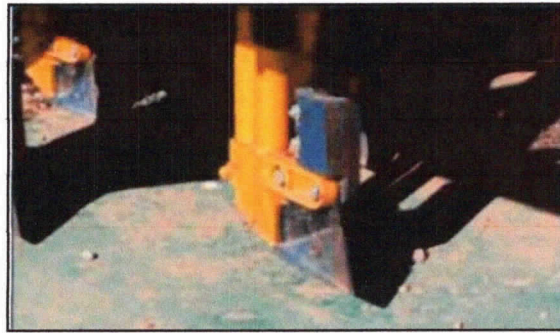


Figure 4.22 : Encadré 8. Ouvre sillon en forme de T retourné.

3.5 Les sillons croisés

Le corps rayonneur pour sillons croisés est une forme avancée de l'ouvre sillon en forme de T inversé. Il produit de très bonnes conditions de germination pour la semence. Il est constitué d'un disque coupant vertical, avec deux petites ailes rattachées sur les deux côtés (Figure 4.23). Les ailes créent des fentes horizontales, la semence est placée dans l'une des fentes, et l'engrais dans l'autre. Ces fentes horizontales sont séparées par le sillon vertical créé par le disque coupant.

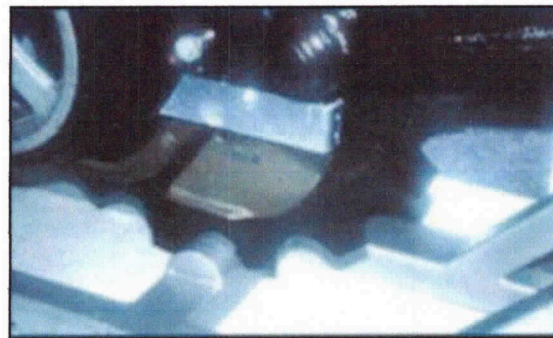


Figure 4.23 : Détail d'un corps rayonneur pour sillons croisés

3.6 Autres sillons

La poinçonneuse rotative à injection est une autre forme d'ouvre sillon (Encadrés 10 et 11). La semence est placée entre les doigts de deux roues étoilées qui sont montées avec un angle comparable à celui du disque jumelé, puis poussée et déposée dans le sol.

Ce matériel gère assez bien les résidus, mais à tendance à s'obstruer quand il est utilisé sur des sols argileux (collants). Pour les plantes annuelles, il est recommandé que l'engrais soit placé à 5 cm à côté et en dessous de la semence. Dans le cas de semoir de semis direct, ceci suppose que l'ouvre sillon pour l'engrais est un offset sur un côté de la ligne de travail du semoir. Toutefois, pour la majorité des semoirs l'engrais est placé sous la semence mais sur la même ligne.





- Créent des bons lits de semences.

3.3.2 Inconvénients

- Fonctionnent mal lorsqu'il y a des obstacles sur le sol (cailloux, etc.).
- Exigent un bon disque coupant pour trancher les résidus.
- Forte perturbation du sol selon la forme et la largeur.

3.4 Les sillons en T inversé

Le type de sillon en T inversé a été développé en retournant le bout large, la base étroite de la forme en V. L'objectif principal visé était l'aptitude du matériel à refermer le sillon avec les résidus présents sur la surface du sol pour favoriser la conservation de l'humidité. Le deuxième objectif était de trouver une conception qui permette une bonne délivrance de l'engrais en même temps que le semis. L'équipement est constitué d'une barre verticale courbée vers l'extérieure au niveau de sa base pour former deux ailes qui sont inclinées vers l'avant sur un angle de 5 - 10° (Figure 4.22). Un disque placé à l'avant sert à couper les résidus.

3.4.1 Avantages

- Absence de compaction du sol.
- Auto-fermeture des sillons.
- Garde la profondeur de semis constante en suivant la superficie du sol.
- Capable de semer très superficiellement grâce à la faible inclinaison des ailes.

3.4.2 Inconvénients

- Ne tiennent pas longtemps sur les sols sableux.
- Les sillons ouverts sur les sols ameublés ne sont pas de bonne qualité.
- Gestion difficile des résidus (exige un disque coupant).



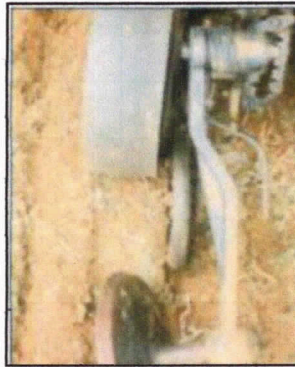


Figure 4.19 : Détail d'un disque ouvre sillon



Figure 4.20 : Houe large pour ouvrir les sillons.



Figure 4.21 : Un chisel de type corps rayonneur pour une faible perturbation du sol.

3.3.1 Avantages

- Coûtent moins cher.
- Pénètrent facilement le sol, pas besoin d'engins lourds.
- Ne provoquent pas l'enfouissement des résidus, mais les poussent de côté.





Figure 4.19 : Corps rayonneur avec doubles disques et un jeu de disques de diamètres différents.

3.2.1 Inconvénients

- Exigent une grande force de pénétration.
- Ne supportent pas les conditions sub-optimales.
- Ont tendance à boucher les sillons avec les résidus.
- Ont tendance à concentrer les semences et l’engrais à la base du sillon en cas d’utilisation du même sillon.

3.3 Les sillons en U

Les sillons en forme de U ont une base plus large que les sillons en V. Ils sont créés par divers types de corps rayonneurs comme le disque ouvreur (Figure 4.19); la houe (Figure 4.20); et le pulvérisateur. Tous ces modèles ameublissent le sol à côté du sillon, cette terre peut être utilisée pour refermer le sillon. Les disques ouvres sillons à angle raclent le sol à partir du centre du sillon, la houe et les autres types de corps rayonneur éclatent le sol vers le haut. La houe regroupe tous types de dents ou chisels (Figure 4.21), conçus pour une pénétration verticale du sol. La semence est délivrée soit au travers de la dent creuse même, ou au travers d’une goulotte fixée tout près de la dent, et très souvent ouverte à l’arrière. Le grand désavantage des houes est qu’elles ne parviennent pas à gérer des quantités même modestes de résidus sans se bloquer, à moins qu’un disque d’entraînement ne soit placé devant la houe pour couper les résidus.



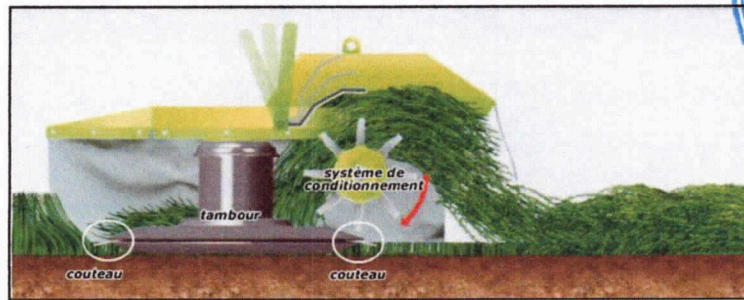


Figure 6.2 : Faucheuse rotative

4 La faneuse

Le fanage intervient juste après la coupe et complète l'action du conditionnement (réalisé par les faucheuses-conditionneuses) s'il a eu lieu. Il consiste à **soulever** délicatement et à **étaler**, à plusieurs reprises pendant quelques jours, le fourrage laissé au sol par la faucheuse. La capacité de **séchage** de la matière sous l'action du soleil et du vent s'en trouve alors renforcée. (L'andainage est très souvent associé au fanage, cf. fiche **andaineuses**).

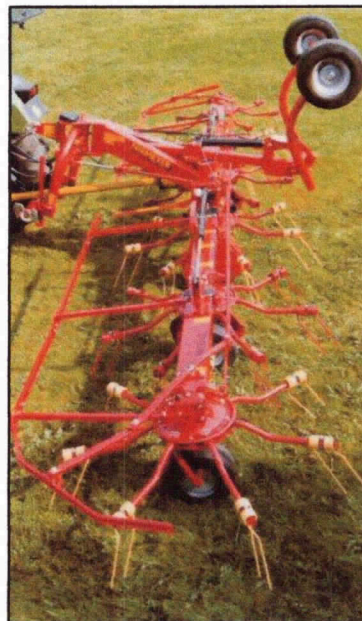


Figure 6.3 : La faneuse





5 L'andaineur

Les andaineuses regroupent le fourrage sec, issus du fanage, sous forme de lignes continues, les andains. Ces appareils peuvent également être couplés à une faneuse et dans ces cas là interviennent juste après la coupe.



Figure 6.4: Andaineur

6 La ramasseuse presse

La récolte du fourrage se termine par le ramassage-pressage, consistant à ramasser le fourrage andainé et à le comprimer sous forme de balles compactes de formes parallélépipédique ou cylindrique, et de densités variables (basse: $<100\text{Kg/m}^3$, moyenne: 100 à 175Kg/m^3 , haute: 175 à 250Kg/m^3).

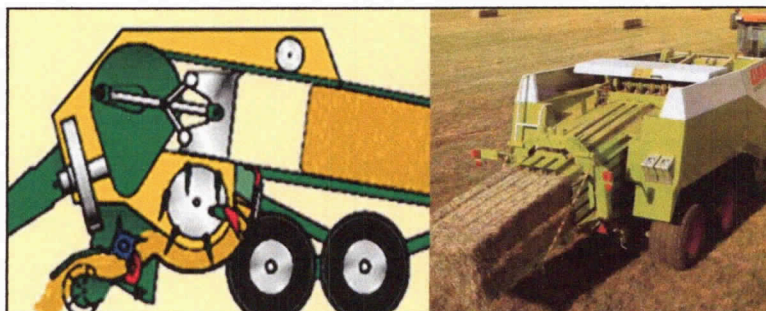


Figure 6.5 : La ramasseuse presse

7 Enrubanneuse

L'enrubanneuse sert à la confection de "balles de conserve", c'est à dire des balles enveloppées d'un emballage limitant la quantité d'air en contact avec le fourrage afin d'en améliorer la conservation. Les enrubanneuses peuvent être indépendantes ou associées à une presse.





Figure 6.6 : Enrubanneuse

8 L'arracheuse de pomme de terre

Le terme d'arracheuse est désigné pour parler de l'ensemble des outils de **récolte des tubercules**. Les chantiers de récolte nécessitent l'utilisation successive ou combinée de différentes machines effectuant arrachage, tamisage, effanage, triage et chargement.



Figure 6.7 : Arracheuse de pomme de terre

9 La récolte des céréales

9.1 .L'élaboration du rendement

En matière de production céréalière,, le terme "rendement" exprime la quantité de produit récoltée par hectare (en quintaux/hectare par exemple). Le rendement est finalement le résultat des étapes successives de la végétation : il se caractérise par le **nombre d'épis, le nombre de grains par épi et le poids de chaque grain**.

Le **nombre d'épis** d'une parcelle dépend tout d'abord du peuplement à la levée, qui influe sur le **tallage**. Un blé clair aura un tallage herbacé beaucoup plus abondant qu'un blé dense. En plus du nombre de pieds à la levée, le nombre d'épis dépend de la température pendant le tallage et au début de la montaison . Quelques interventions culturales peuvent également modifier le "tallage épis". Ainsi , la fumure azotée peut





agir en assurant une bonne alimentation minérale de la plante, et en favorisant la montée d'un plus grand nombre d'épis. Le désherbage intervient également sur cette composante du rendement en éliminant la compétition exercée par les mauvaises herbes.

Pour assurer un peuplement d'épis optimal (450 à 600 épis par mètre carré, selon les variétés et les zones de culture), l'agriculteur doit observer attentivement son blé dès le début du tallage, noter sa vigueur, et repérer avec précision les **stades de début de tallage, de plein tallage** et de **début de montaison**.

- **le début de tallage** est caractérisé par l'apparition de la première talle à l'aisselle de la première feuille. A ce stade, les plantes possèdent généralement quatre feuilles,
- **le plein tallage** est un stade beaucoup plus difficile à définir, car l'importance du tallage varie beaucoup avec les conditions agro-climatiques (densité de semis, température). On considère généralement que le blé est en plein tallage lorsqu'il présente deux ou trois talles par pied. A ce stade, il possède encore un port très rampant
- **le début de montaison** se caractérise par le changement de port des plantes, dont les tiges commencent à se dresser. A cette époque, les entrenœuds s'allongent, et l'épi déjà formé s'éloigne du plateau de tallage. L'observation de ce stade nécessite la réalisation de coupes longitudinales des maîtres brins. On considère que le début de montaison est atteint lorsque le sommet de l'épi est distant de 8 à 10 mm du plateau de tallage.

Les stades ultérieurs de **la montaison** sont repérés par le nombre de nœuds que comporte la tige principale : "stade 1 nœud", "stade 2 nœuds". Un autre repère de la montaison est couramment utilisé, il s'agit de la position de l'épi dans le maître-brin. Ainsi, lorsque le stade deux nœuds est atteint, l'épi est généralement situé à 10 cm de hauteur.

Le nombre de grains par épi est la composante du rendement qui traduit la fertilité du blé. Le nombre de grains par épi commence à s'élaborer dès le tallage, lorsque se détermine le nombre d'épillets, puis il est fixé, à la fin de la montaison, lors de la fécondation des fleurs. Une bonne alimentation en eau et en éléments minéraux pendant cette période, jointe





à des conditions favorables pendant la période suivante, doit permettre alors le développement de tous les grains.

Le poids du grain est étroitement lié aux conditions climatiques observées au cours de la période de formation du grain et de sa maturation. L'agriculteur doit veiller au bon état sanitaire de la culture, et il doit être prêt à intervenir en cas d'invasion d'insectes ou de maladies. Les clefs du succès des interventions se situent au stade de la montaison, définie par l'épi à 10 cm dans la tige et au stade de l'épiaison, lorsque 50 % des épis sont apparus.

Le stade de récolte :

Après la floraison, le grain passe de l'état "laiteux" à l'état "pâteux". Au stade "laiteux", les enveloppes du grain sont formées ; au stade "pâteux", il contient de 45 à 50% d'eau, il remplit ses enveloppes et acquiert son poids maximum (défini par le poids de 1000 grains).

Entre les stades laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable : c'est le **palier hydrique**, phase critique de remplissage du grain. Une rupture d'alimentation en eau pendant cette période (par exemple brusque élévation de température) perturbe le palier hydrique et ralentit la migration des réserves vers le grain : c'est l'**échaudage**.

Au terme du stade pâteux, la maturation du grain est ensuite rapide : le taux d'humidité descend à 30 % en 4 ou 5 jours, puis à 20 % au bout de 8 à 10 jours, à condition que des pluies ne retardent pas la perte d'eau. Par beau temps, le taux d'humidité du grain peut passer de 20 % à 15 % en 2 ou 3 jours ; à ce stade, le grain est dur, cassant sous la dent, ne peut être rayé par l'ongle et les épis s'égrènent facilement à la main. En prélevant un échantillon toujours au même endroit du champ et à la même heure de la journée, on peut suivre l'évolution du dessèchement du grain. Il faut aussi surveiller l'état des pailles ; des pailles encore vertes indiquent un manque de maturité des grains et risquent de perturber le fonctionnement de la moissonneuse-batteuse (bourrages).

A partir de 15 %, la récolte peut commencer, mais le mieux est de battre si possible le grain, à 13 ou 14 % d'humidité, taux idéal pour assurer une bonne conservation.

La récolte des céréales a pour but de recueillir un grain propre à la consommation, destiné à l'alimentation humaine, à la préparation des aliments du bétail ou à la transformation industrielle. La moissonneuse-batteuse est la véritable interface entre le champ et les circuits de stockage et de conditionnement. Son utilisation doit permettre à l'agriculteur de récolter du grain ayant une bonne valeur marchande, propre et avec un minimum de casse. Bien que cet objectif puisse paraître évident, la réalité montre que l'agriculteur est en fait soumis à différentes contraintes :

- récolter vite avec un minimum de main d'œuvre,
- choisir un matériel capable de réaliser la récolte dans le temps disponible,



- récolter tous les types de graines en adaptant la machine, à un prix raisonnable, avec des équipements spécifiques (céréales, colza, soja, tournesol, maïs,...),
- tenir compte de la destination de la paille (broyage ou pressage ultérieur).

Les aléas climatiques mis à part, la maîtrise de ces contraintes demande à l'agriculteur une solide expérience et une parfaite connaissance technologique des équipements. Ce chapitre décrit fonction par fonction, les organes des moissonneuses-batteuses conventionnels, les utilisées pour la récolte des céréales à paille.

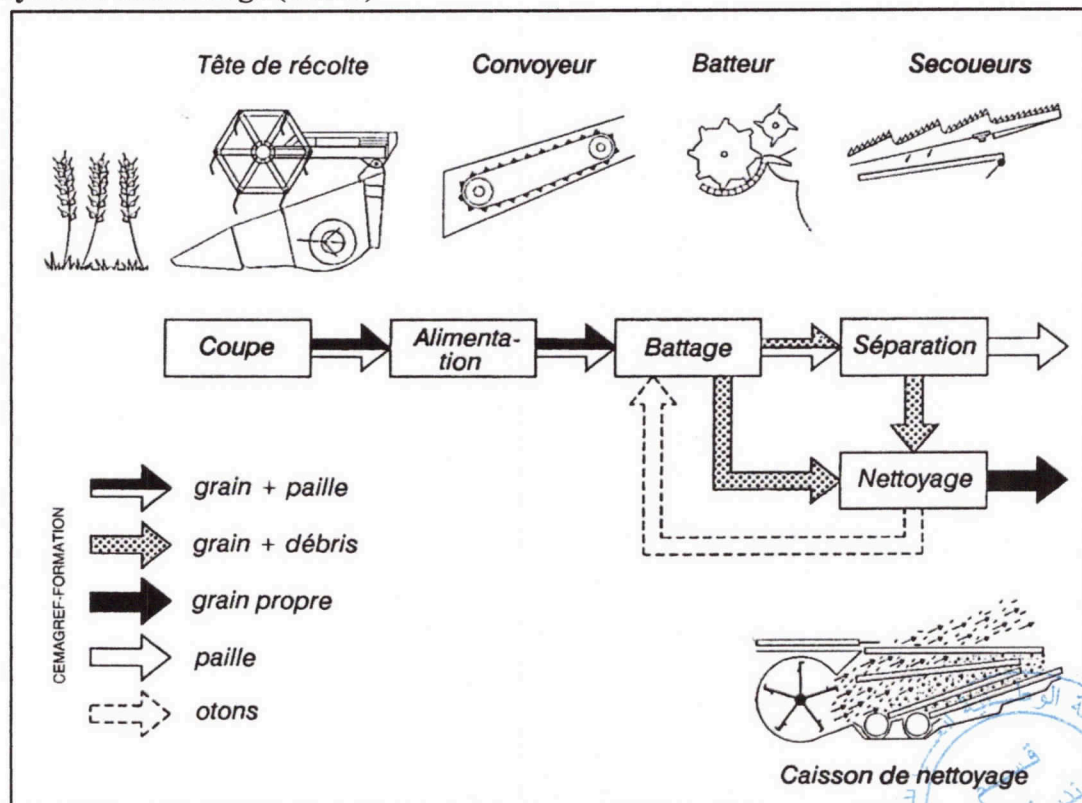
9.2 Etude de la Moissonneuse-batteuse

La **moissonneuse-batteuse** sert à **récolter les céréales et les oléoprotéagineux**. Elle réalise automatiquement et simultanément **la coupe** des inflorescences, **le battage** des grains et leur **nettoyage** pour les extraire des enveloppes. Les moissonneuses-batteuses sont automotrices et la puissance du moteur varie généralement de 200 à plus de 300 Ch. La caractéristique essentielle d'une moissonneuse-batteuse est son débit horaire (de 80 à 250 Q/h).

Une moissonneuse-batteuse comprend:

- un **système de coupe et d'alimentation** (barre de coupe, releveurs, diviseurs, rabatteur, vis d'alimentation, convoyeur)
- un **système de battage** (bateur, contre-bateur, auge à pierres, tire-paille)
- un **système de séparation et de nettoyage** (secoueurs, table à grains, caisson de nettoyage)

un **système de stockage** (trémie)



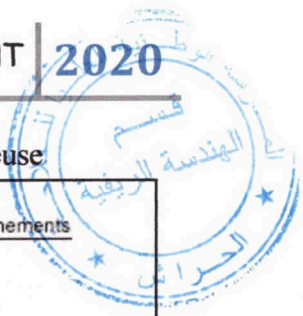


Figure 6.8 : Schéma des systèmes d'une moissonneuse batteuse

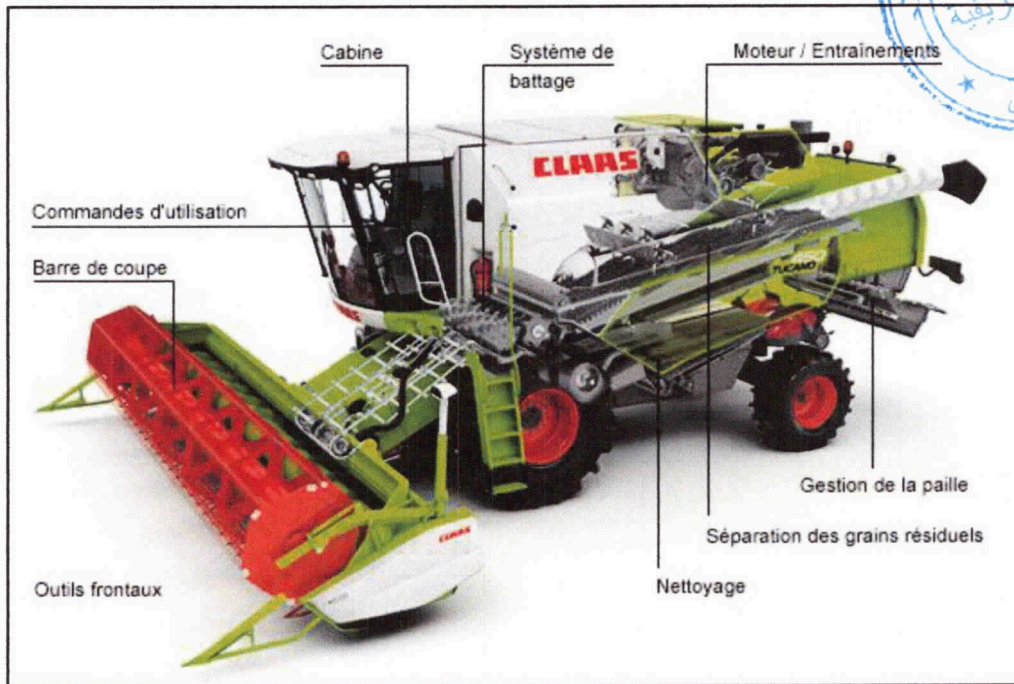


Figure 6.9 : Schéma des organes d'une moissonneuse batteuse

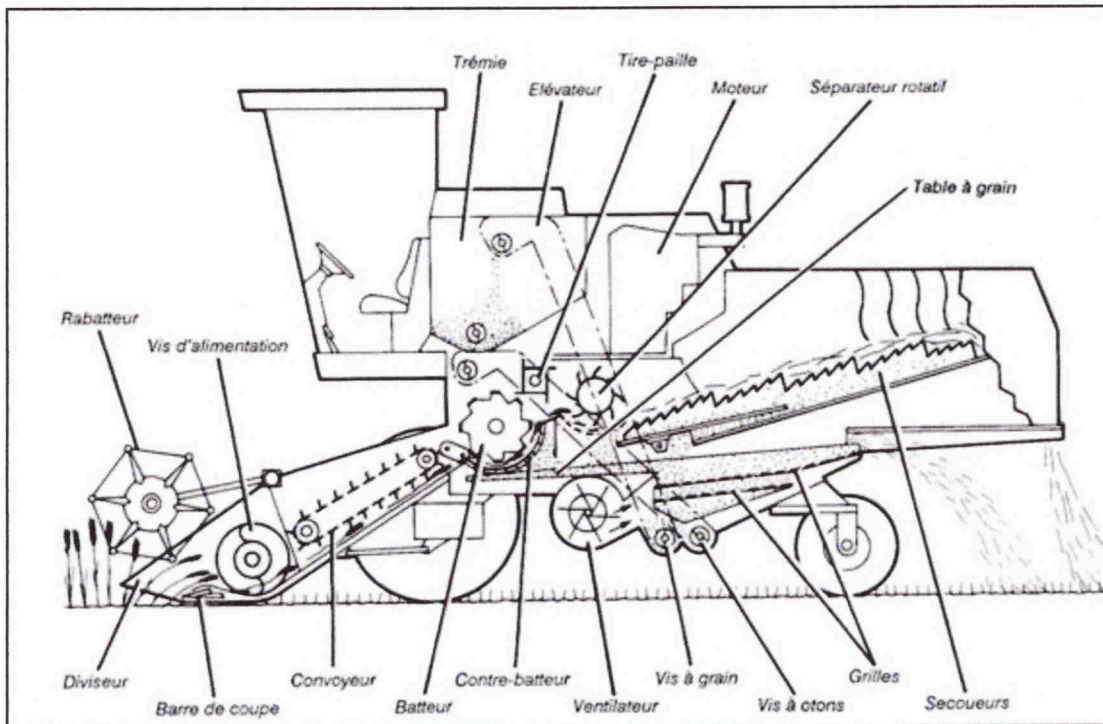


Figure 6.10: Vue en coupe d'une moissonneuse batteuse conventionnelle



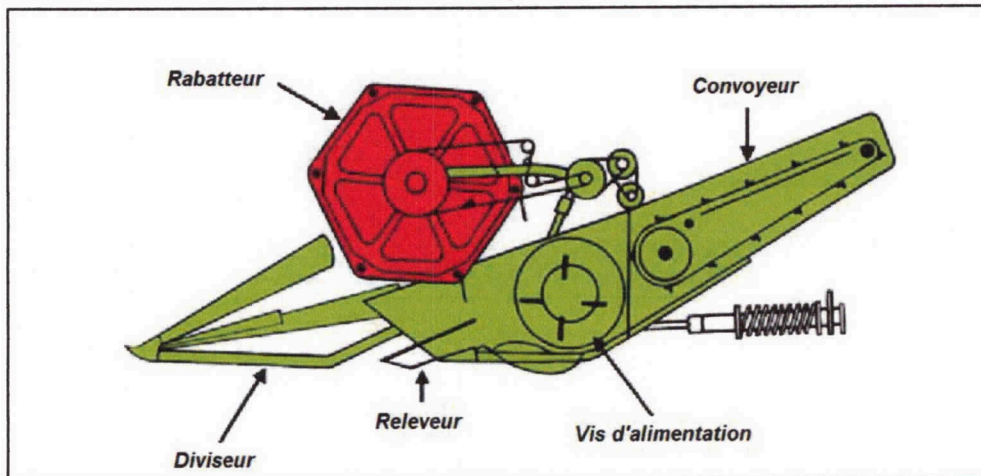


9.2.1 Les organes de coupe et d'alimentation

L'ensemble, appelé souvent table de coupe ou plate-forme de coupe, a pour rôle de faucher la récolte et de l'amener dans un couloir alimentant les organes de battage. Sa largeur peut varier de 2,10 m à plus de 7 m, de sorte que dans la plupart des cas il est indispensable, pour le transport sur route, de la démonter et de la placer en long sur une remorque tirée par la moissonneuse-batteuse ; d'une façon générale, l'accrochage ou le décrochage de la plate-forme s'effectue grâce à des verrous mécaniques et des raccords hydrauliques rapides.

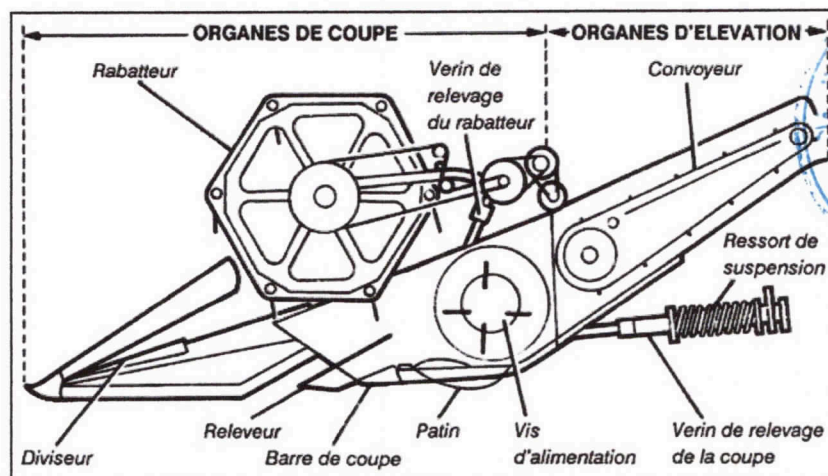
La table de coupe comporte :

- Un **tablier métallique** ou **tablier de coupe** constitué d'une paroi métallique étanche, située entre la barre de coupe et le dispositif d'alimentation,
- Une **barre de coupe** fixée à l'avant du tablier, analogue à celle rencontrée sur les faucheuses à lame alternative,
- Des **releveurs d'épis**,
- Deux **diviseurs** situés de chaque côté du tablier,
- Un **rabatteur**,
- Un **tambour d'alimentation** constitué de deux demi vis à pas opposés et à doigts escamotables. Ce tambour d'alimentation est généralement appelé vis d'alimentation.



- **Figure 6.10** : Photo d'un tablier de coupe d'une moissonneuse batteuse conventionnelle





- Figure 6.11 : Vue de profil des organes de coupe et d'élévation

Selon les modèles, le tablier est à double fond et des patins protègent le fond contre l'abrasion. Ces patins, fixes ou réglables en hauteur, protègent également la barre de coupe et évitent les bourrages, dans le cas où une roue passe dans un trou ou en cas de fausses manœuvres. Lorsque ces patins sont réglables, il convient de tenir compte de l'état de la récolte et de les relever au maximum lorsque la récolte est versée.

Dans certains cas, la table de coupe peut comporter entre la barre de coupe et la vis sans fin un tapis d'alimentation, en toile caoutchoutée, muni de barrettes vulcanisées. Il assure une alimentation continue, et une meilleure circulation des petites graines. Le plus souvent, il existe dans le tablier un logement prévu pour une lame de réserve.

La hauteur du tablier de coupe (hauteur de coupe) est réglable en marche. Elle peut varier de 5 à 70 cm selon l'importance de la paille et le désir de la récolter ou non ; l'existence de nombreux verts entre les chaumes, une récolte versée, une forte densité de semis ou une humidité excessive de la base des tiges sur pied peuvent également influencer sur le choix de cette hauteur de coupe. Pour le colza, le réglage de la hauteur de coupe dépend également de la hauteur de l'étage fructifère.

Sous réserve de bien ramasser les épis, il y a toujours intérêt à couper haut pour éviter de surcharger la machine en paille, ce qui ralentit sa marche, et peut provoquer des bourrages. Ceci n'est pas toujours possible lorsque l'on recherche soit à récolter le maximum de paille pour la presser, soit à broyer la paille en un seul passage avec la moissonneuse-batteuse.

Le relevage de la table de coupe est commandé hydrauliquement depuis le poste de conduite et comporte deux vérins hydrauliques, associés à des ressorts compensateurs montés de part et d'autre du tablier. La suspension de la coupe peut être aussi assurée par un ou plusieurs amortisseurs hydropneumatiques reliés au circuit hydraulique des vérins, afin d'amortir les variations de pression occasionnées par les irrégularités du terrain.

Le contrôle de la hauteur de la coupe au travail s'opère soit visuellement depuis le poste



de conduite grâce à un index se déplaçant devant des graduations, soit automatiquement par repérage de la position du convoyeur (hauteur théorique) ou grâce à des patins palpeurs placés sous la table de coupe (hauteur réelle). Dans certains cas, les constructeurs proposent des systèmes de contrôle de la pression d'appui de la table de coupe sur le sol.

Selon la distance qui sépare la barre de coupe de la vis d'alimentation, on distingue deux types de table de coupe : la **table de coupe courte** ou "**table américaine**" dont l'espacement entre la lame de coupe et la vis est d'environ 1 cm, et la **table de coupe longue** ou **table "européenne"**, où la lame se situe à environ 30 à 40 cm de la vis. La table de coupe courte est en principe réservée aux récoltes à tiges courtes (pois, soja, ..), tandis que la table européenne est plus polyvalente et permet la récolte du colza (en adaptant, le cas échéant, une rallonge de table).

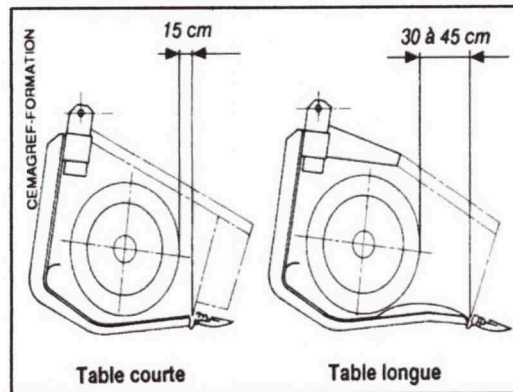


Figure 6.12 : Les deux types de table de coupe

9.2.1.1 La barre de coupe

Elle est identique à celle d'une faucheuse à lame alternative ; les doigts sont espacés de 76,2 mm (3 pouces) et les sections de la lame sont **faucillées**. La longueur importante de la lame implique un réglage soigné du jeu au niveau des guides et des doigts. Afin de parvenir à un meilleur guidage de la lame, les constructeurs adoptent de plus en plus des lames à **sections alternées**.

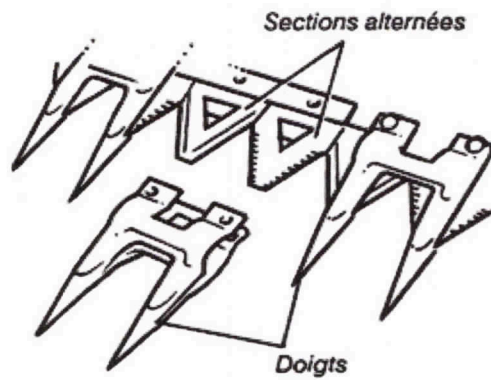


Figure 6.13 : Vue partielle d'une barre de coupe à section alternées

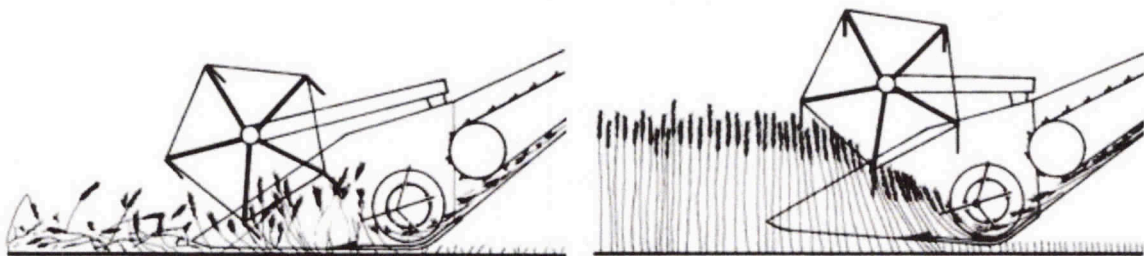


Figure 6.14 : Récolte versée (à gauche) et récolte droite (à droite)





9.2.1.2 Les releveurs d'épis ou doigts releveurs

Leur présence est facultative, ils sont emboîtés sur les doigts de la barre de coupe et fixés par une goupille ou par boulonnage. Leur espacement correspond le plus souvent à quatre ou six espaces entre-doigts de la barre de coupe. Leur rôle est important lorsque les récoltes sont versées, car ils soulèvent les tiges du sol et évitent que la barre de coupe et les griffes des rabatteurs ne descendent trop bas, ce qui limite la montée de la verdure et des pierres dans la table de coupe. Des releveurs spéciaux sont adaptés aux différentes récoltes : pois, soja...

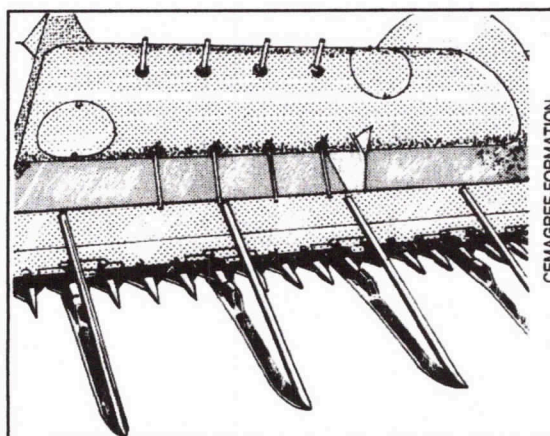


Figure 6.15 : Doigts releveurs.

9.2.1.3 Les diviseurs:

Au nombre de deux, ils sont situés de chaque côté du tablier. Ils séparent la récolte à couper de celle restant debout. Il existe des **diviseurs fixes** et des **diviseurs réglables**, les plus courants. Relativement encombrants, les diviseurs sont généralement déposés lors du transport. Pour la récolte de certaines graines à tiges entremêlées (colza, luzerne...), on utilise des diviseurs animés constitués par une barre de coupe à lame alternative ou à double lame (Busatis), placée verticalement aux extrémités de la table de coupe.



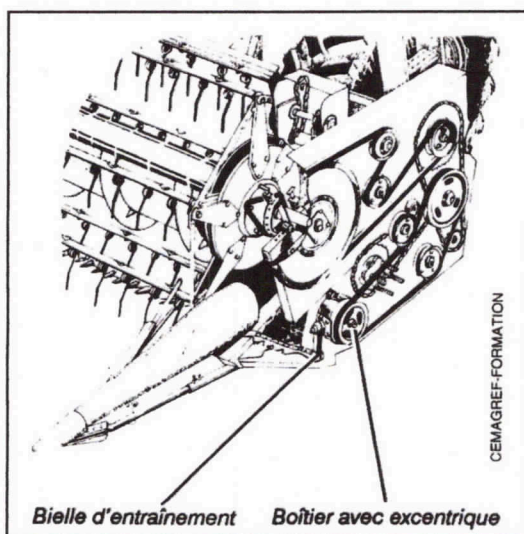


Figure 6.15 : Diviseurs latéraux réglables

9.2.1.4 Les rabatteurs

Ils sont situés au-dessus du tablier. Leur rôle est d'amener régulièrement la récolte vers la lame et de diriger les épis vers le dispositif d'alimentation en les empêchant de retomber sur le sol.

Les rabatteurs, comportent plusieurs **flasques ou étoiles** (3 à 6), parallèles au sens d'avancement et qui sont portées, dans leur partie centrale, par l'**axe des rabatteurs**. Des **barres d'accouplement** relient, dans chaque étoile, les branches entre elles, deux à deux. Le nombre de branches peut varier de 6 à 8 selon les modèles de rabatteurs. Les sommets des différentes étoiles sont alignés et supportent des **barres** horizontales dont la longueur est approximativement celle de la lame. Chaque barre porte à intervalles réguliers des **dents flexibles** appelées également **peignes**. Certains rabatteurs récents comportent des peignes à dents en matière plastique.

La conception des rabatteurs est telle que les griffes de toutes les barres sont toujours dirigées *vers* le bas, quelle que soit la position des barres. Cette conception est rendue possible grâce à un guidage par excentrique : des biellettes forment un angle constant *avec* les dents de la barre qu'elle supporte. Lorsque le plateau et la couronne tournent chacun autour de leur axe, les biellettes restent constamment parallèles entre elles, ainsi que toutes les dents qui, de ce fait, sont toujours dirigées *vers* le bas.

Les rabatteurs sont supportés de chaque côté par des bras qui peuvent être relevés. Leur rotation est obtenue par courroie trapézoïdale et variateur de vitesse ou par moteur hydraulique.

Afin d'adapter leur efficacité aux conditions de récolte, les rabatteurs doivent disposer de plusieurs réglages : **hauteur, position longitudinale, inclinaison des griffes, vitesse de rotation**



- **Le réglage en hauteur** : lorsque la récolte est normalement dressée, les griffes du rabatteur doivent la prendre environ aux deux tiers de sa hauteur ; lorsque la récolte est *versée*, les griffes du rabatteur doivent d'abord soulever les épis avant la coupe. Le réglage en hauteur s'obtient grâce au relevage hydraulique des bras supportant le rabatteur.

- **Le réglage longitudinal** s'opère hydrauliquement, par des vérins hydrauliques. Dans des conditions normales de récolte, les rabatteurs sont placés de telle sorte que leur axe se trouve à l'aplomb de la barre de coupe. Toutefois, dans les récoltes versées, il peut s'avérer nécessaire de déplacer légèrement le rabatteur vers l'avant pour relever les tiges avant de les couper.

L'avancement et la hauteur des rabatteurs doivent être réglés de façon à amener les épis sur la table de coupe sans former de paquets ni provoquer de battage prématuré, cause de pertes de grains et quelque fois d'épis entiers devant la coupe.

- **Le réglage de l'inclinaison des griffes** intervient après les deux réglages précédents et a également pour but d'adapter le rabatteur à l'état et à la nature de la récolte. Il s'obtient, par exemple, grâce au déplacement d'un verrou à ressort sur l'étoile d'entraînement du rabatteur. Les griffes doivent être inclinées de telle manière que la récolte soit poussée vers la vis d'alimentation et ne s'enroule pas autour du rabatteur :

> **dans les récoltes droites**, les griffes sont en principe verticales. En récolte normale, les peignes doivent seulement guider le produit et permettre ainsi un apport régulier à la vis d'alimentation.

> **dans les récoltes versées**, les griffes doivent être inclinées vers la vis pour ramasser la récolte devant la lame de coupe et pour la relever vers la vis d'alimentation avant qu'elle ne soit coupée. Attention : une inclinaison trop forte peut provoquer des enroulements,

> **dans les récoltes à paille courte**, il peut être nécessaire d'incliner assez fortement les griffes vers la vis, afin de guider plus efficacement les tiges.

- **Le réglage de la vitesse de rotation** est réalisé depuis le poste de conduite en agissant sur le variateur de vitesse. La vitesse choisie doit être telle que le rabatteur régularise la chute des tiges et ne provoque pas un battage prématuré des épis. Les possibilités de réglage vont le plus souvent de 0 à 50 tr/min.

Dans des conditions normales de travail, la vitesse tangentielle des rabatteurs doit être légèrement supérieure à la vitesse d'avancement de la machine (environ 10 %), afin d'amener les tiges coupées vers la vis d'alimentation. En effet, si la vitesse de rotation est trop lente, les épis risquent d'être repoussés sur le sol ; si, par contre, elle est trop rapide, la récolte peut s'enrouler autour des griffes.

En récolte versée, la vitesse de rotation du rabatteur doit être légèrement augmentée pour accentuer l'effet de ramassage du rabatteur. Ne pas exagérer cette vitesse sur les récoltes très sèches, s'égrenant facilement.

Dans les récoltes à hautes tiges, il est souhaitable de diminuer la vitesse du rabatteur par rapport



à la vitesse d'avancement.

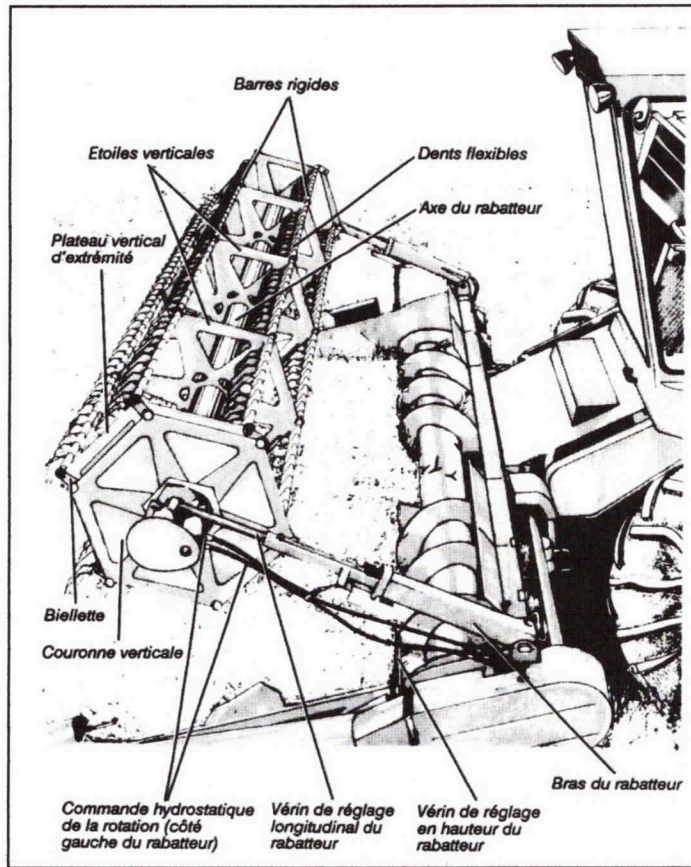




Figure 6.16 : Le rabatteur

9.2.1.5 La vis d'alimentation

Elle est constituée d'un **corps ou tambour horizontal** comprenant sur chacun de ses côtés, une **demi-vis hélicoïdale** et des **doigts escamotables**, placés au centre, ou répartis sur toute la largeur. Les deux demi-vis hélicoïdales de pas inverses rassemblent la récolte au centre du tablier et le tambour dirige la récolte vers le convoyeur . L'ensemble tourne dans une auge étanche formée dans le tablier et peut être réglé en hauteur, ainsi que d'avant en arrière. La position de la vis d'alimentation doit être telle qu'il ne se produise pas de broyage de la paille ou des grains entre les spires de la vis et le tablier ; par ailleurs, la récolte ne doit pas rester sur le tablier de coupe, ce qui entraînerait une alimentation irrégulière des organes de battage. Lors de ce réglage, les deux côtés de la vis d'alimentation doivent être ajustés de manière symétrique , afin que la vis reste toujours parallèle au fond du tablier. Certaines machines possèdent à l'arrière de la vis , une tôle réglable, qui affleure les spires de la vis et évite l'enroulement du produit.

Les doigts escamotables sont disposés sur le tambour en une succession de rangées ou en une rampe hélicoïdale. Ces doigts s'effacent dans le tambour lorsqu'ils sont dirigés vers l'arrière, afin de laisser passer la récolte vers le convoyeur . Ce mouvement est obtenu par le montage des doigts sur un support avec maneton dont l'axe est excentré par rapport à celui du tambour, l'ensemble se trouvant à l'intérieur du corps de vis. Il est possible de régler la position des doigts par rapport au fond du tablier et par rapport au tambour, ce qui permet de faire varier le moment où ils doivent s'escamoter.



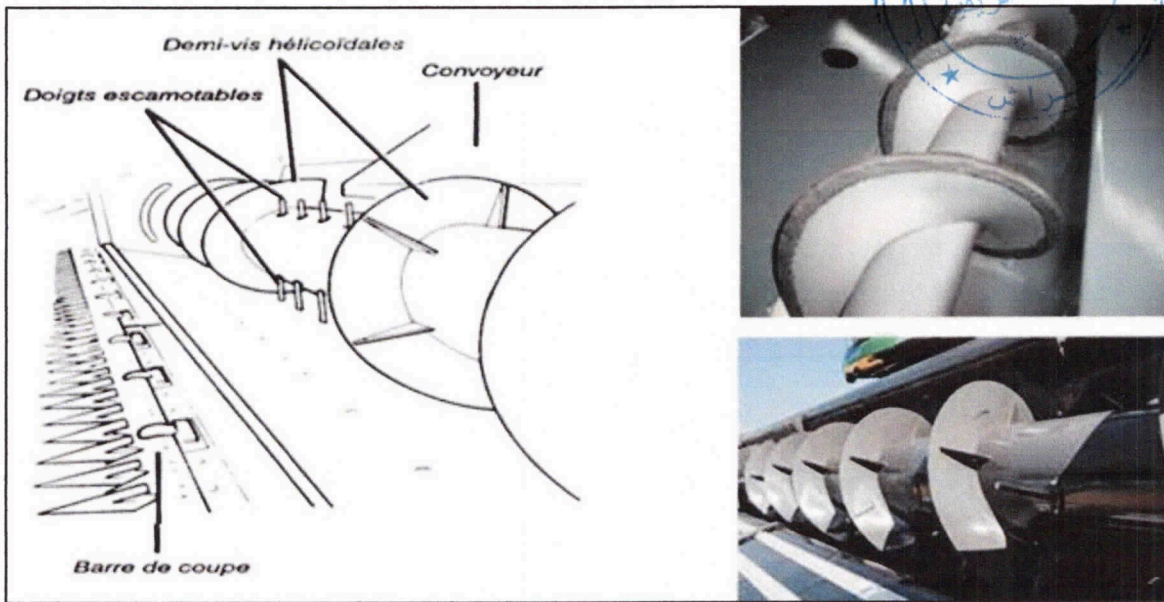


Figure 6.17 : La vis d'alimentation - vue de coté

9.2.1.6 *Le convoyeur :*

Il fait suite au tablier de coupe et comprend un **élévateur** à chaînes et barrettes et un caisson incliné étanche , le **couloir d'alimentation**, qui possède à sa partie inférieure un système rapide d'attache et de verrouillage du tablier de coupe.

L'élévateur prend la récolte à la sortie de la vis d'alimentation et l'amène aux organes de battage en la poussant contre la paroi inférieure du couloir d'alimentation. Sur la plupart des moissonneuses-batteuses , l'élévateur est du type à **chaînes et barrettes**. Les chaînes sont au nombre de trois ou quatre ; dans ce dernier cas, les barrettes peuvent être alternées.



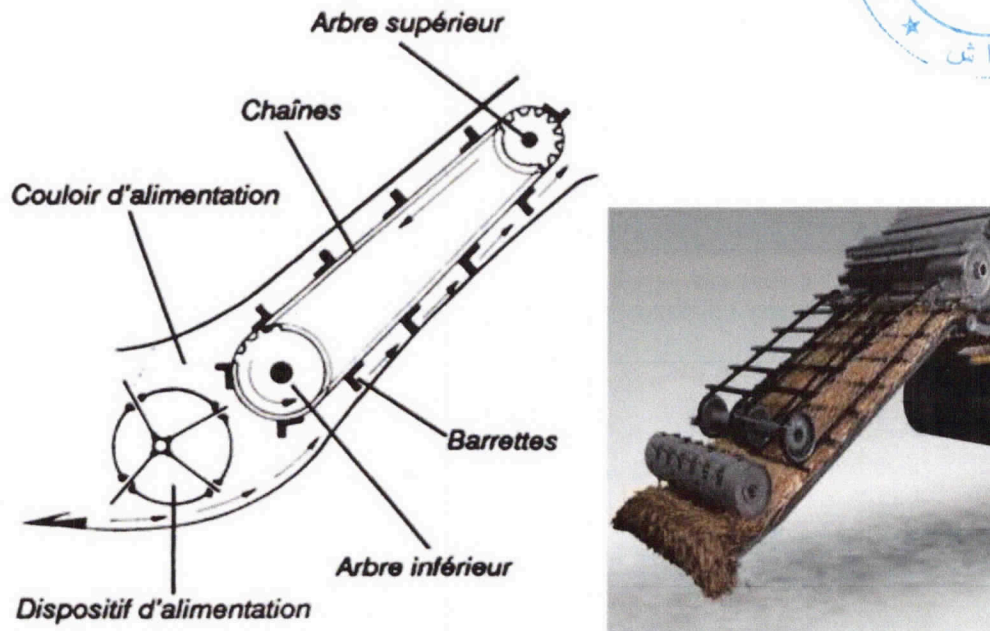


Figure 6.18 : Convoyeur à chaînes et barrettes

9.2.2 Les organes de battage

Leur rôle est de séparer par choc et friction la majeure partie du grain des épis.

Les organes de battage comportent :

- Le Batteur
- Le contre batteur
- Le tire paille

Le batteur et le contre-batteur sont les éléments essentiels des organes de battage, puisque leur action permet de séparer au moins 85 % du grain des épis. Ce paragraphe ne décrit que les batteurs transversaux qui équipent actuellement la majorité des moissonneuses-batteuses; les batteurs longitudinaux ou axiaux sont étudiés à la fin de ce chapitre.

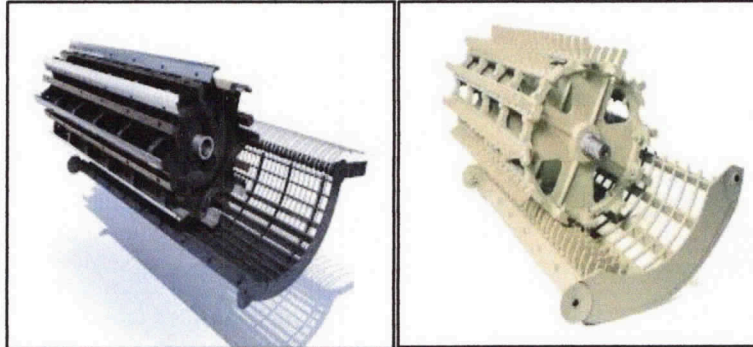
9.2.2.1 Le batteur

Il s'agit d'un tambour horizontal perpendiculaire au sens d'avancement de la moissonneuse-batteuse . Il est constitué de **flasques** en acier sur lesquelles peuvent être fixées des **battes métalliques** ou, plus rarement, des **doigts** ou des **battes à face caoutchoutée**.

Le **batteur à battes métalliques** équipe actuellement la quasi-totalité des moissonneuses-batteuses. Son diamètre varie de 45 à 66 cm et peut atteindre 80 cm (machines AVTO) , 45 et 60 cm étant les diamètres les plus courants. La longueur du batteur est également très variable, de 0,80 à 1,60 m environ, selon les constructeurs et aussi selon la taille de la moissonneuse-batteuse.



Il comporte, en nombre pair, des battes en acier ou en fonte , équidistantes, boulonnées sur les flasques. Les battes comportent en relief, des stries obliques. Le sens des stries étant inverse pour deux battes successives, afin d'empêcher le glissement latéral de la récolte. Le nombre de battes est généralement de 6 pour les batteurs de 45 cm de diamètre, et de 8 pour les batteurs de 60 cm de diamètre. Cette disposition permet de conserver une distance identique entre deux battes successives (225 mm environ).



La **vitesse du batteur** doit être suffisante pour séparer la plus grande partie possible du grain des épis. Il faut battre les épis *avec* suffisamment d'énergie pour qu'ils soient vides de grain, mais attention aux excès de vitesse qui endommagent les grains ou les cassent ; cette détérioration est très *grave* dans le cas des semences ou d'orge de brasserie et, de toute façon , elle provoque des pertes, car les grains cassés sont plus facilement expulsés par la ventilation de la machine que les grains entiers. De plus, un battage trop agressif brise la paille et déchiquette les "verts" . Les fragments entraînés surchargent les circuits et les grilles, provoquant des pertes et un excès de "verts".

La vitesse périphérique du batteur est réglée entre 23 et 27 m/s pour le blé, l'orge et de 28 à 30 m/s pour le triticale. Ce réglage est fondamental puisqu' il conditionne, en partie, les pertes de grain. Un compte-tours branché sur l'arbre du batteur permet le contrôle de la vitesse instantanée.

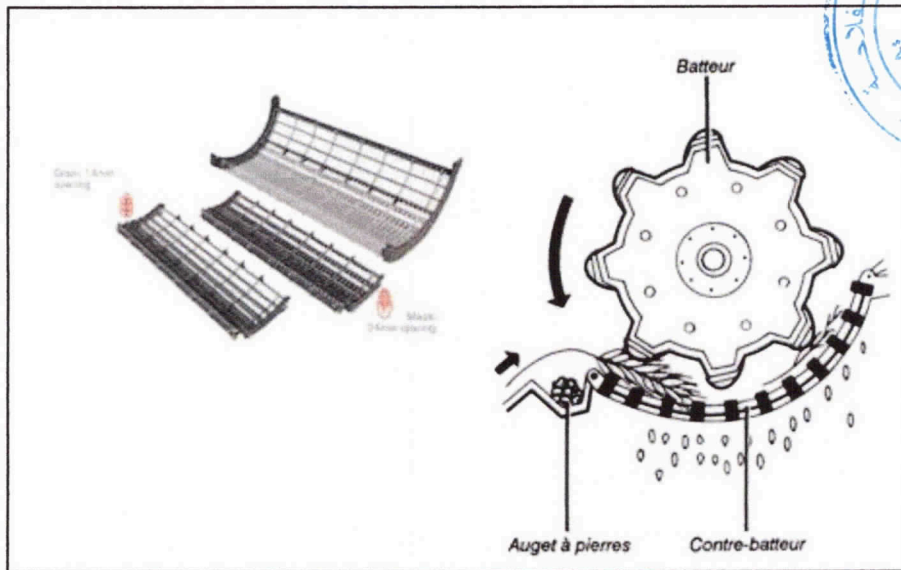


Figure 6.19 : Principe d'action du batteur et du contre batteur

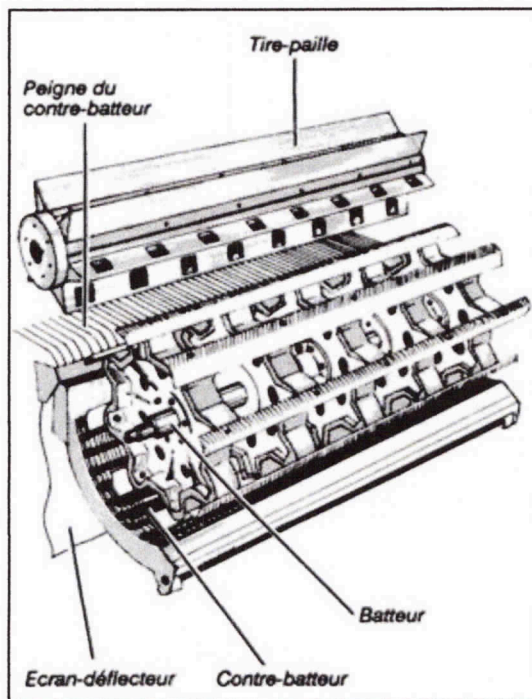


Figure 6.20 : Les organes de battage

9.2.2.2 Le contre-batteur

Il a la forme d'une portion de cylindre enveloppant le batteur à sa partie inférieure. Il est constitué par une série de fers plats disposés de chant, les **contre-battes**, réunies par des fils ronds d'acier ou joncs placés perpendiculairement à ces fers. Cet ensemble forme une





grille au travers de laquelle passe la majorité des grains et les débris séparés de la paille par l'action du batteur.

L'écartement batteur-contre-batteur

joue un rôle fondamental dans la réalisation d'un battage efficace. Une distance trop faible provoque la casse des grains et une distance trop grande conduit à un battage imparfait. L'écartement batteur-contre-batteur est donc lié directement à la nature et à l'état de la récolte, à la taille des grains, à la facilité d'égrenage et au taux d'humidité. D'une façon générale, il convient de retenir l'écartement le plus faible possible sans qu'il se produise de casse des grains :

- **si les épis ne sont pas battus à fond**, il faut en principe rapprocher le contre-batteur du batteur. Si après un second essai, le battage des épis est toujours insuffisant, il faut augmenter la vitesse du batteur. Le réglage doit se poursuivre ainsi jusqu'à ce que les grains soient battus correctement. Précisons toutefois que cette méthode est réservée aux batteurs de 45 cm de diamètre ; pour les batteurs de grand diamètre (60 cm), il est préférable d'agir d'abord sur la vitesse du batteur avant de modifier l'écartement batteur-contre-batteur,

- **si le grain est cassé**, il faut d'abord réduire la vitesse du batteur. Si après un deuxième essai, le grain est toujours cassé, il faut alors augmenter l'écartement batteur-contre-batteur.

- 12 à 14 mm à l'avant et 3 mm à l'arrière pour le blé, le seigle et le triticales,
- 14 mm à l'avant et 3 mm à l'arrière pour l'orge,
- 16 à 18 mm à l'avant et 4 mm à l'arrière pour l'avoine.





. Le tire-paille :

Appelé aussi **tambour de dégagement**, il est constitué d'un rotor muni de 4 à 6 pales, tournant à 700 et 800 tr/min. Il canalise la masse de paille provenant du batteur et la tire par dessus le peigne, ce qui réalise une séparation supplémentaire ; sa présence évite l'enroulement de la paille autour du batteur et la projette vers l'arrière.

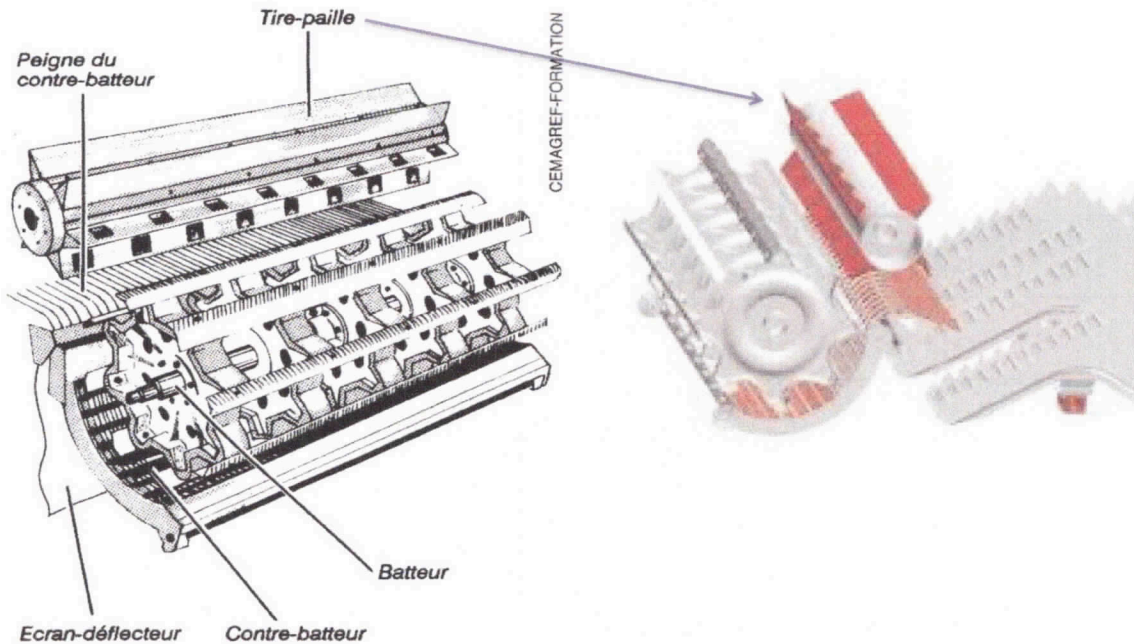


Figure 6.21 : Tire paille

9.2.3 Les organes de séparation

La séparation du grain de l'épi est assurée lors du passage de la récolte entre le batteur et le contre-batteur. Cette séparation est la plus importante, puisque au moins 85 % des grains passent à travers le contre-batteur.

La plus grande partie des grains restant dans la paille est récupérée lors d'une séparation qui consiste à faire passer le reste de la récolte sur des **secoueurs** qui la brassent, provoquant son aération et favorisant la séparation du grain restant. Sur les moissonneuses-batteuses modernes, l'action des secoueurs est complétée par des **organes complémentaires de séparation**.



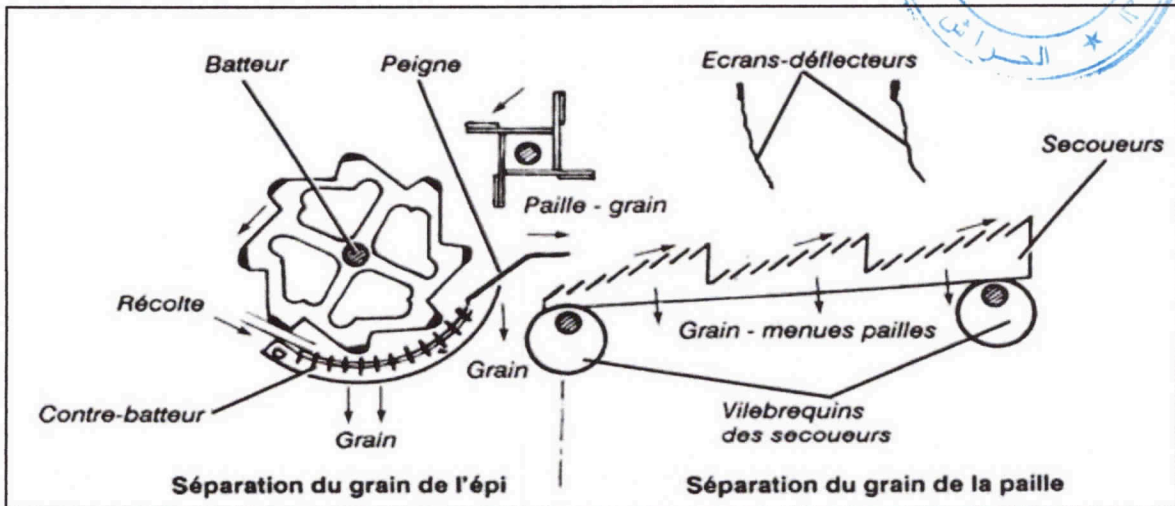


Figure 6.22 : Principe de séparation

9.2.3.1 Les secoueurs

Les moissonneuses-batteuses possèdent plusieurs secoueurs jusqu'à 6, disposés les uns à côté des autres et animés d'un mouvement alternatif ayant une fréquence de 150 à 200 coups/minute . Les manetons qui les animent sont décalés de telle sorte que deux secoueurs voisins ne se trouvent jamais, au même instant, dans une position identique. Une telle disposition amène la paille à progresser vers l'arrière en décrivant une série de demi-circonférences et en subissant régulièrement des chutes de 20 à 30 cm.

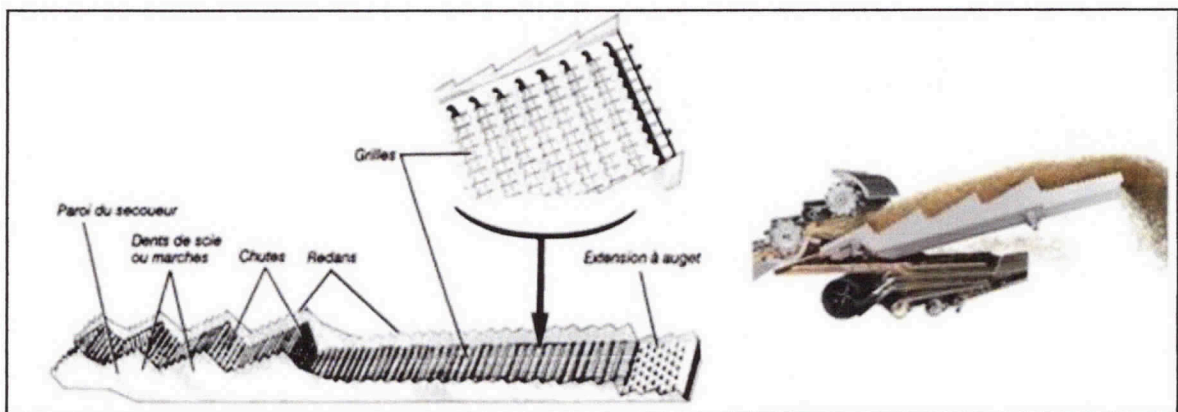


Figure 6.23 : Les secoueurs

9.2.4 Les organes de nettoyage

Au cours de la phase de séparation grain-paille, divers éléments passent à





travers le contre-batteur et les secoueurs. Il s'agit non seulement du grain, mais aussi des **ôtos**, des **balles**, ainsi que des débris de paille et de la poussière.

Les ôtots sont des épis non battus, des graines non décortiquées et des morceaux de rachis qui contiennent encore quelques grains. Les balles sont les **fines** enveloppes des grains.

Les organes de nettoyage recueillent dans un premier temps l'ensemble de ces éléments, puis procèdent à un tri qui ne gardera que le grain et les ôtots, sous l'action conjuguée d'un criblage mécanique et d'un courant d'air.

Les organes de nettoyage comprennent **une table de préparation** ou **table à grain** et un **caisson de nettoyage** comprenant au minimum deux **grilles de nettoyage** montées sur un châssis oscillant et un **ventilateur**.

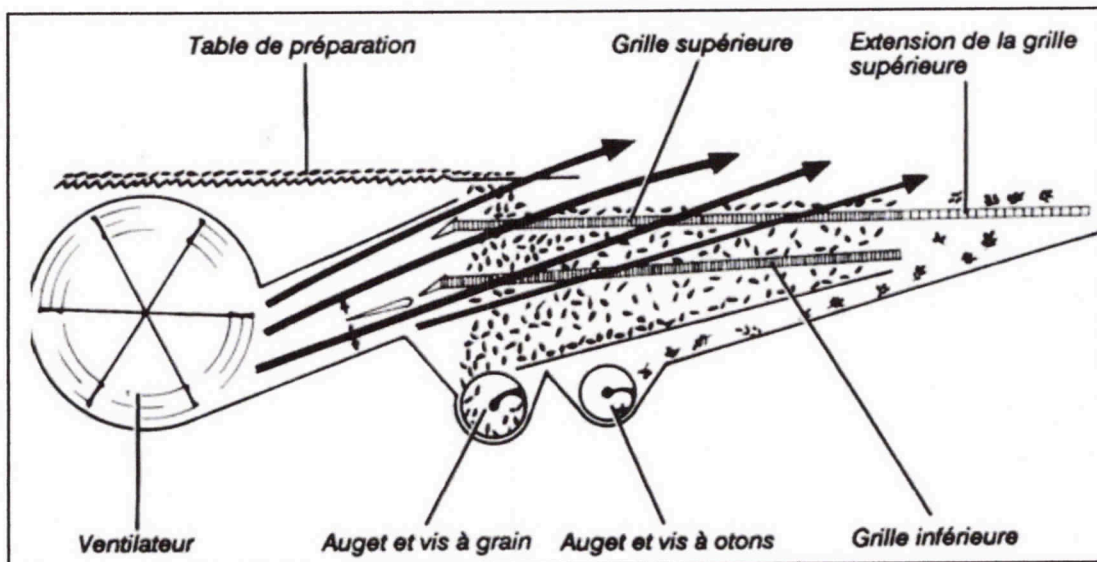


Figure 6.24 : Circuit de l'air, du grain et des ôtots dans le caisson de nettoyage

Les trois réglages qui conditionnent l'efficacité du fonctionnement du ventilateur sont le **volume d'air admis**, le **débit** et l'**orientation du flux d'air**.

- **Le volume d'air admis**

On peut le faire varier en ouvrant plus ou moins les ouvertures d'admission d'air du ventilateur. Il importe que toutes ces ouvertures soient identiques, afin d'avoir une ventilation uniforme sur toute la largeur du caisson de nettoyage.

- **Le débit**



En 1993, aux États-Unis, l'utilisation de capteurs de rendement couplés à un GPS (Global Positioning System) permet de réaliser les premières cartes de rendement.

En 1997, les premières cartes de rendement apparaissent en Europe. Aujourd'hui, aux États-Unis, 10 millions d'hectares sont cartographiés par 31000 capteurs de rendement. En France, il existe 150 systèmes de cartographie du rendement (capteur + GPS).

1.4 Les étapes de la démarche

La démarche de l'agriculture de précision est constituée de trois étapes :

- la première consiste à caractériser les hétérogénéités spatiales intra-parcellaire à l'aide d'un certain nombre d'outils et de techniques spécifiques, et à interpréter cette variabilité.
- L'information ainsi recueillie et interprétée doit être intégrée au raisonnement des itinéraires culturaux.
- Enfin, la modulation des techniques doit être mise en œuvre sur le terrain et évaluée, par rapport à sa faisabilité et sa rentabilité.

2 Les outils spécifiques

Il existe de nombreux outils permettant de caractériser la variabilité intra-parcellaire, qu'il s'agisse de la variabilité du sol ou du couvert végétal. Les capteurs issus des nouvelles technologies fournissent des données quantitatives qui, après interprétation permettent d'avoir des estimations des variables à mesurer. Malgré leur coût et l'aspect destructeur, les outils classiques (échantillonnage) restent donc utilisés car ils fournissent une mesure directe.

2.1 Outils de caractérisation des hétérogénéités spatiales du sol

Les mesures des caractéristiques permanentes (réserve utile, profondeur) permettent de définir des zones homogènes et ainsi de définir des potentiels de rendement par zone.

- **Sondages : plan d'échantillonnage systématique ou ciblé**

Bien que lourdes et coûteuses, ces mesures restent indispensables pour mesurer les caractéristiques permanentes du sol (profondeur, pierrosité, texture, etc.)

- **Photos aériennes**

Elles fournissent une information initiale notamment sur sol nu (les différences de couleur peuvent traduire des différences de nature, texture, etc.)

- **Résistivité électrique**

La cartographie de la résistivité électrique met en évidence les hétérogénéités du sol dues à des caractéristiques pérennes (matière organique, profondeur, réserve utile, teneur en



Chapitre 07 : Agriculture de précision

1 Démarche

1.1 Principe général

L'agriculture de précision vise à adapter les pratiques culturales à l'hétérogénéité intra-parcellaire du sol et des cultures. Cette adaptation a toujours été d'usage pour certaines cultures peu mécanisées (arboriculture, viticulture) pour lesquelles les opérations de taille ou de récolte par exemple peuvent être adaptées à chaque plant. Pour les grandes cultures, la mécanisation et la recherche de la productivité ont conduit à traiter de manière synchrone et homogène des parcelles de taille de plus en plus grande.

Cependant, les progrès technologiques ont révélé une hétérogénéité spatiale parfois importante au sein des parcelles concernant à la fois le milieu physique et les rendements. Il en découle l'idée d'adapter les Itinéraires techniques aux hétérogénéités intra-parcellaires. Par exemple : moduler la dose de semis en fonction du taux de levée sur les zones à forte porosité.

1.2 Les enjeux

En Europe et notamment en France et dans un contexte de production où l'impact environnemental des cultures est un élément de plus en plus important, l'agriculture de précision est promue comme un outil de raisonnement de la fertilisation azotée. L'objectif global est de mieux répartir les engrais azotés sur la parcelle, voire de diminuer la dose globale en évitant d'apporter de l'azote en excès dans les zones à faible potentiel de rendement.

1.3 Historique

En 1983, deux chercheurs de l'université du Minnesota utilisent une carte d'acidité des sols pour moduler l'apport d'amendements calciques sur une parcelle et créent ainsi le concept d'agriculture de précision.

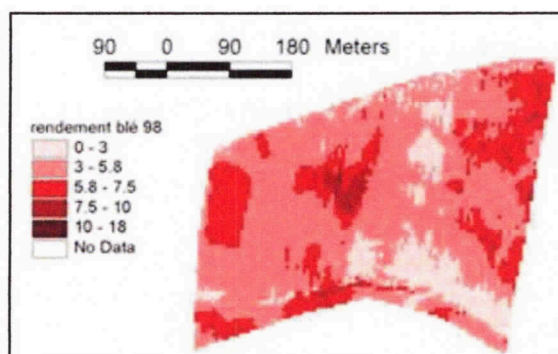


Figure 7.1 : Rendement Pont-cailloux blé 98 (T/HA)



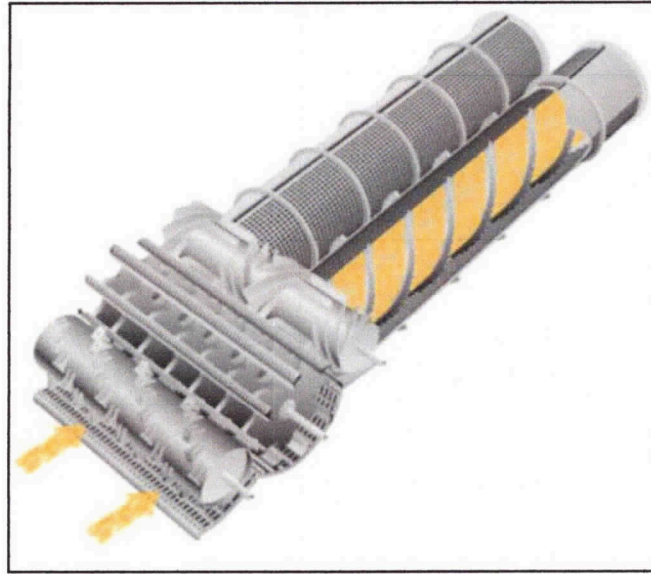


Figure 6.29 : Système de séparation rotatif



Ces récolteuses de maïs grains sont appelées "corn-sheller". Il y a aussi des "corn-pickers" qui peuvent également être utilisés pour la récolte d'épis non égrainés.

- ❑ **Equipement de récolte des oléo-protéagineux** : modifications du rabatteur et présence de plateaux adaptés pour le tournesol (limitant la perte de têtes); diviseurs coupants et table de coupe rallongée pour le colza (limitant la perte de graines).

9.4 LES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

Pour assurer les grands débits des moissonneuses batteuses modernes, différentes technologies et dispositifs de battages ont été mis au point:

9.4.1 Le battage flux à axial ("axial flow") :

le batteur est disposé longitudinalement ou la récolte est forcée pour parcourir toute la longueur du batteur en suivant une allure hélicoïdale. Ce type du battage est relativement efficace et accroît la capacité horaire de la machine. En outre, ce système axial permet de broyer suffisamment la paille. Il s'adapte bien aux grandes exploitations qui n'utilisent pas la paille et ont besoins de la rendre fine pour éviter le bourrage lors d'un éventuel travail du sol.

9.4.2 Les séparateurs rotatifs

(tambours placés à la suite du tire-paille) équivalent presque à un enchaînement de plusieurs systèmes de batteurs/contre-batteurs ;

9.4.3 Les secoueurs rotatifs

ces rotors disposés au-dessus des grilles améliorent la séparation.

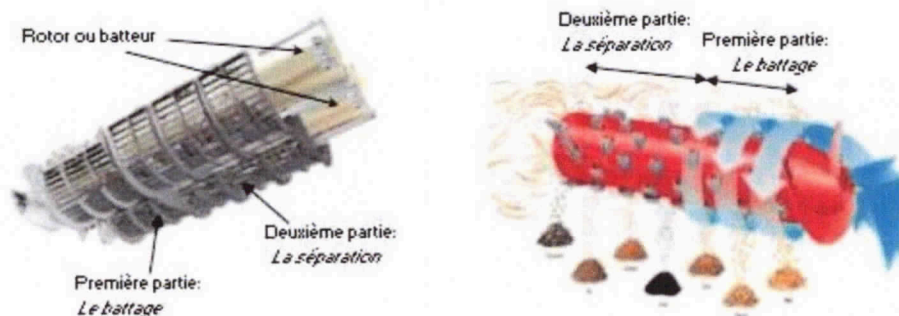


Figure 6.28 : Technologie de battage axial



• L'ÉVALUATION DES PERTES DE GRAIN :

L'évaluation précise des pertes de grain des moissonneuses-batteuses est toujours une opération assez délicate, qui demande de l'expérience et une bonne connaissance des machines. Rappelons que les pertes de grain se situent à trois niveaux :

- au niveau de la coupe,
- à la sortie des secoueurs,
- à l'arrière du caisson de nettoyage.

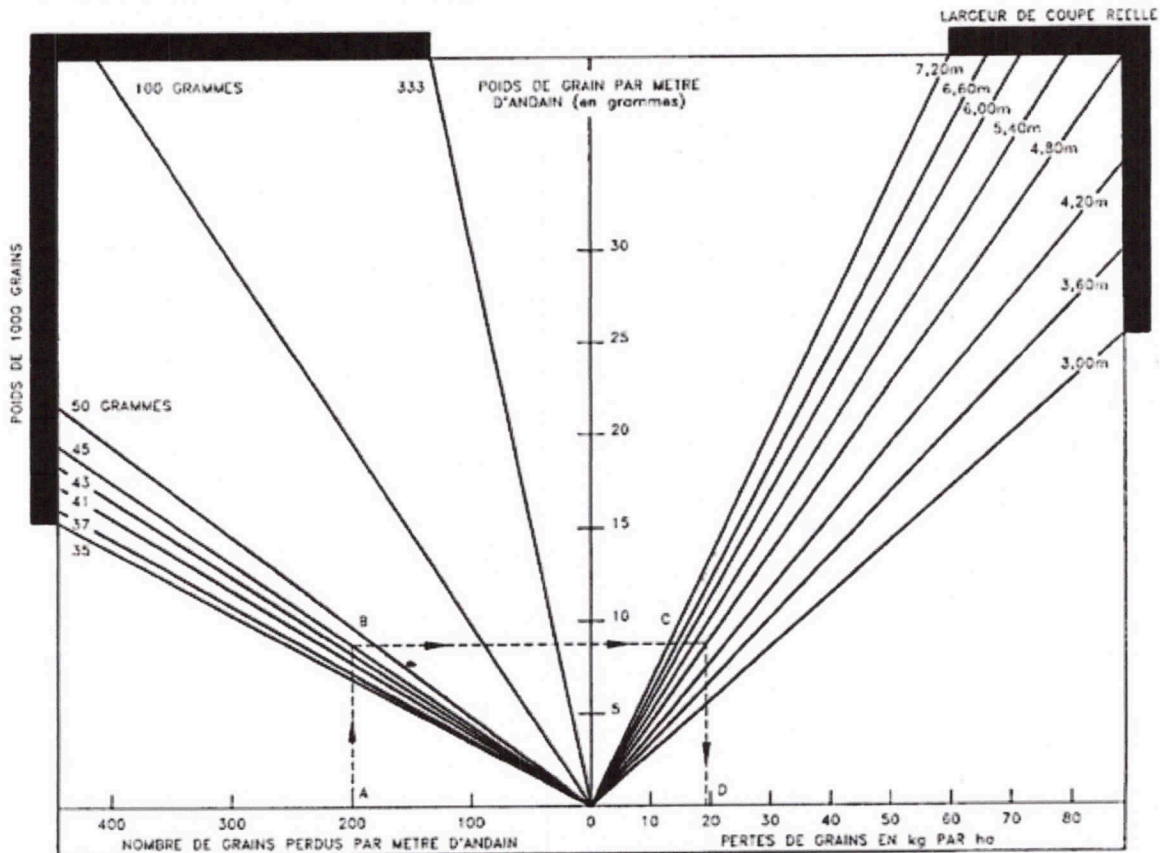


Figure 6.27 : Abaque pour l'évaluation des pertes de grains

Précisons toutefois qu'une moissonneuse-batteuse ne peut pas récolter 100 % des grains et qu'il convient de relativiser l'importance des pertes, lorsqu'elles sont faibles et lorsque le temps passé à les réduire coûte plus cher que le gain obtenu.

9.3 Les équipements complémentaires d'une moissonneuse batteuse

- ❑ **Broyeur de paille** : situé à la sortie des secoueurs, ce rotor à axe horizontal muni de couteaux et contre-couteaux, hache la paille avant de l'éparpiller.
- ❑ **Eparpilleur de paille** : situé à l'arrière des secoueurs, ce rotor à axe vertical disperse les restes de tiges et d'inflorescences, pour faciliter leur enfouissement ultérieur.
- ❑ **Becs cueilleurs à maïs** : ils remplacent la table de coupe, et permettent de cueillir uniquement les épis en laissant les tiges sur place. Le batteur a donc moins de volume de matière à traiter.





battage, secouage, nettoyage, étudié précédemment. Il convient d'éviter la surcharge des grilles de nettoyage, afin que les ôtons ne contiennent trop de grains propres, car ceux-ci risquent d'être cassés au cours du deuxième battage.

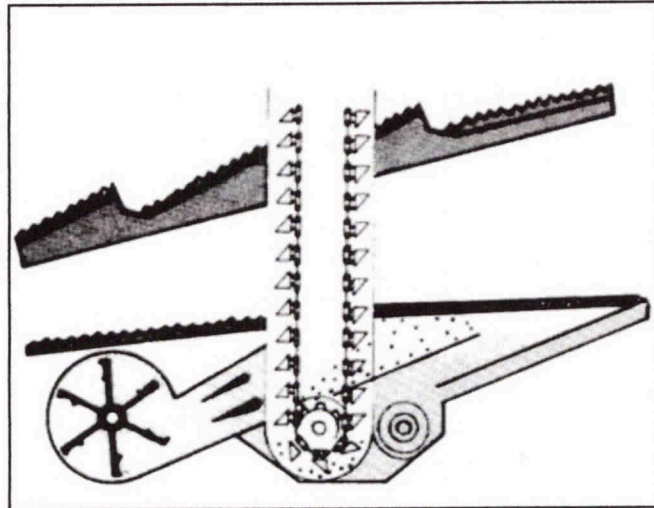


Figure 6.25 : Le circuit des ôtons

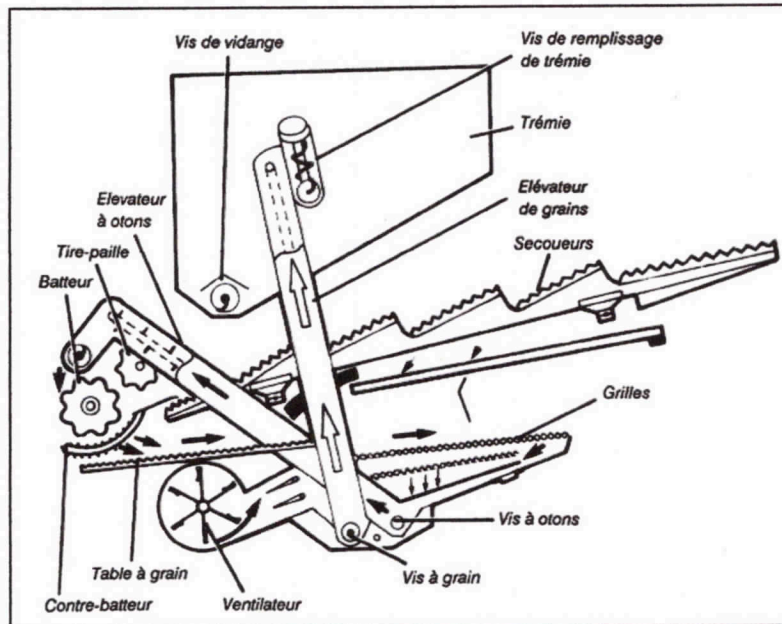


Figure 6.26 : :Organes de nettoyage et de récupération du grain





Son intensité se règle en modifiant la vitesse du ventilateur qui est entraîné par l'intermédiaire d'un variateur à courroie ou d'un moteur hydraulique. Un débit d'air insuffisant réduit l'efficacité du nettoyage et se traduit automatiquement par une certaine quantité d'impuretés passant avec le grain dans la trémie.

Au contraire, lorsque la ventilation est excessive, la grille supérieure n'est plus chargée et une partie importante du grain rejoint les ôtons ou se trouve projetée vers l'extérieur de la machine et déposée sous l'andain. On conseille une ventilation forte pour le blé, l'orge, le seigle et le triticale et une ventilation moyenne pour l'avoine. Il faut prêter une attention à ce réglage, car on provoque autant de pertes par manque de ventilation que par excès. L'excès peut entraîner des grains vers l'extérieur, tandis qu'une ventilation trop faible ne dégage pas les déchets qui alors bouchent les grilles empêchant les grains de passer.

- **l'orientation du flux d'air**

Des déflecteurs ont pour rôle de répartir le flux d'air sur l'ensemble des grilles, en privilégiant toutefois la partie antérieure de celles-ci. Une bonne orientation des déflecteurs est primordiale pour obtenir un nettoyage correct de la récolte.

Il est conseillé de diriger l'air vers le premier tiers des grilles, afin de les dégager au maximum et d'éviter aux menues pailles de s'y déposer.

9.2.5 Les organes de récupération du grain

Le fond du caisson de nettoyage comporte deux **augets** où s'accumulent respectivement le grain et les ôtons. Deux **vis sans fin** récupèrent ces produits qui empruntent chacun un circuit différent.

9.2.5.1 Le circuit du grain propre :

La vis à grain dirige le grain vers un **élévateur à grain** qui à son tour l'amène vers la **vis de remplissage** de la trémie. L'élévateur à grain peut être à vis, à godets ou à palettes en caoutchouc, ce dernier système étant actuellement le plus utilisé. La tension des chaînes de l'élévateur doit être contrôlée régulièrement, une tension insuffisante de la chaîne pouvant entraîner une casse du grain et une tension trop forte la détérioration de l'élévateur.

Des **trappes de visite** dans les parois de la vis à grain et de l'élévateur facilitent la surveillance et permettent un accès facile pour leur nettoyage ou une intervention en cas de bourrage.

9.2.5.2 Le circuit des ôtons:

Les ôtons rassemblés dans l'auget à ôtons peuvent suivre des circuits différents, selon que la moissonneuse batteuse est à **recyclage des ôtons** ou à **batteur auxiliaire à ôtons**.

9.2.5.3 Circuit à recyclage des ôtons

Dans ce cas, la vis à ôtons dirige les ôtons vers un élévateur à palettes caoutchoutées qui les amène en avant sur toute la largeur du batteur. Les ôtons suivent alors le circuit :



argile). Elle permet de déterminer des unités cartographiques du sol ayant des caractéristiques homogènes. Cette technologie est développée par la société Geocarta.



Figure 7.2 : Système ARP (Automatic Resistivity Profiling) Mesure en continu et à plusieurs profondeurs de la résistivité électrique des sols

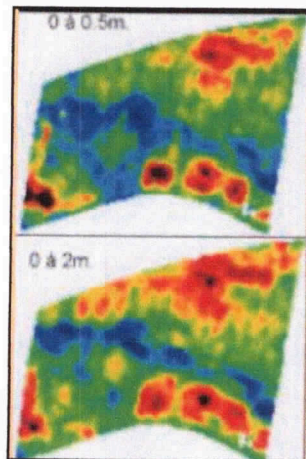


Figure 7.3 : Résistivités mesurées sur la parcelle Pont Cailloux (Grignon, Yvelines, France) de 0 à 50 cm et de 0 à 2m

- **Radars**

Ils peuvent aussi fournir des informations sur la nature du sol (rugosité, humidité, matière organique, etc.) mais sont surtout utilisés pour caractériser le couvert végétal.

2.2 Outils de caractérisation des hétérogénéités spatiales du couvert végétal en cours de culture

On mesure au niveau du couvert végétal des caractéristiques dynamiques (LAI, ...) qui permettent d'évaluer l'effet de l'interaction sol*climat sur la croissance du peuplement végétal, afin de moduler les opérations en cours de culture.

Les mesures du rendement final permettent d'évaluer les hétérogénéités de l'année, et de valider la modulation.



o Radiométrie :

Les caractéristiques du couvert peuvent être mesurées directement ou estimées à partir de leurs propriétés optiques à l'aide de radiomètres ou radar. Ces capteurs mesurent en général la réflectance de la cible, mais parfois la transmittance, l'émittance, la fluorescence. Le signal émis, réfléchi ou transmis est relié aux variables biophysiques qui le caractérisent. Dans le cas des cultures, les rapports de réflectance mesurée dans le rouge et le proche infra-rouge renseignent sur le LAI, la biomasse et la teneur en azote du couvert.

Les capteurs peuvent être véhiculés par différents supports : les engins agricoles (capteurs embarqués), sur un avion ou sur un drone (capteurs aéroportés) ou sur un satellite.

o Cartographie du rendement :

Le rendement est calculé par le débit de grains divisé par le produit de l'avancement de la moissonneuse-batteuse par la largeur de la barre de coupe. Les cartes de rendement sont le résultat de quatre facteurs : le sol, les pratiques culturales, le climat et les maladies. Elles permettent donc de constater la variabilité intra-parcellaire, parfois corrélée aux autres mesures mais ne suffisent pas à proposer des cartes de préconisations.

o Détection des mauvaises herbes

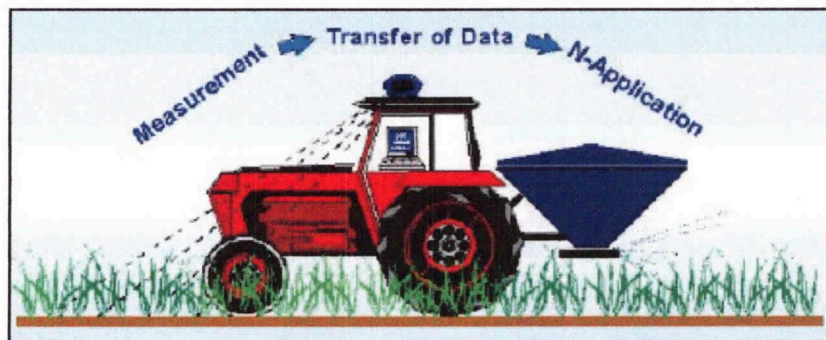
3 Interprétation

Comment interpréter l'information spatialisée ? Exemple de la fertilisation azotée.

Il s'agit de mobiliser les informations disponibles pour effectuer un diagnostic agronomique sur l'hétérogénéité spatiale et construire des stratégies de modulation.

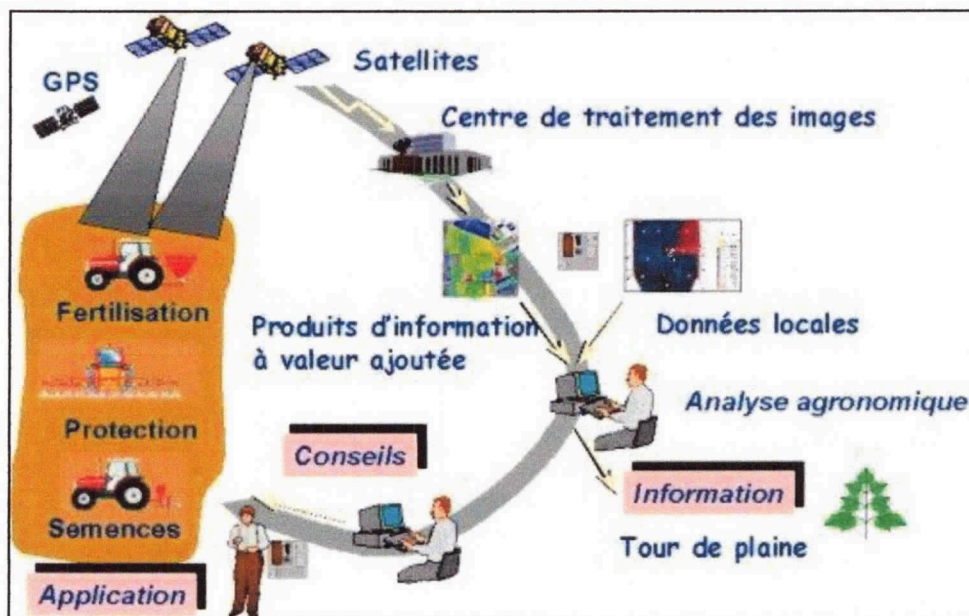
3.1 La modulation directe

Il s'agit d'utiliser les informations sur la culture en cours et l'hétérogénéité pour piloter la fertilisation azotée au plus juste. l'hydro-N-tester, conçu par le groupe Norsk Hydro est utilisé pour mesurer la teneur en chlorophylle et en déduit une estimation du besoin d'azote en temps réel.



L'appareil capte la lumière réfléchiée par les parties vertes de la culture et traduit instantanément cette information en niveau de stress azoté pour les plantes. L'ordinateur du tracteur commandera en temps réel le modulateur installé sur l'épandeur au fur et à mesure que le tracteur avance en fonction des besoins à un endroit précis de la parcelle.

Le programme FarmStar utilise la télédétection :



3.1.1 Les limites

Ces méthodes présentent comme principales limites leur coût de mise en oeuvre, l'empirisme des relations et le risque de confusion d'effets.

Par exemple, dans le cas de la modulation du deuxième apport d'azote sur un blé, estimé d'après sa réflectance (Hydro N-Sensor, service FarmStar), les indicateurs radiométriques utilisés pour définir un stress azoté peuvent réagir à d'autres stress (hydrique, maladies, etc.). Pour limiter au maximum ces erreurs, il est nécessaire de croiser les différentes sources d'information sur la parcelle.

3.2 La modulation indirecte

Il s'agit d'exploiter toutes les informations recueillies les années précédentes pour construire la modulation de l'année suivante. L'agriculteur doit effectuer un zonage de la parcelle à partir de la carte des sols. Carte géologique, photo aérienne, carte de résistivité, etc. peuvent servir à repérer les sous-ensembles homogènes. Sur chaque zone considérée comme homogène, l'itinéraire technique est raisonné en utilisant les outils classique (méthode du bilan, etc.)

3.3 Apport des modèles de culture

La recherche agronomique travaille actuellement sur l'utilisation de modèles de culture à l'échelle intra-parcellaire pour rendre compte de l'effet de l'hétérogénéité du milieu sur le



fonctionnement de la culture. Les deux documents joints illustrent le type de travaux réalisés à ce sujet.

- modulation des apports azotés sur le colza : évaluation expérimentale et analyse au moyen du modèle CERES
- intérêt de l'utilisation des modèles CERES et AZODYN pour raisonner la modulation des apports azotés



Figure 7.4 : Le N-tester permet de lire le statut azoté d'une culture d'après sa réflectance dans le rouge et le proche infra-rouge.



Figure 7.5 : Le dispositif peut être installé sur la cabine d'un tracteur.

4 La mise en œuvre

Il s'agit de mettre en œuvre la modulation sur le terrain en l'intégrant à l'échelle des systèmes de culture et de des itinéraires techniques.

4.1 Équipement du matériel et faisabilité.

Machinisme agricoles : les outils de modulation

- semoirs
- épandeurs
- pulvérisateurs
- informatique embarquée

Compatibilité avec les outils de travail

Compatibilité avec la gestion du temps de travail





4.2 Évaluation de la rentabilité des itinéraires techniques modulés.

- Comment évaluer l'intérêt de la modulation : choix de la référence?
- Importance de la variabilité interannuelle du climat
- Importance du contexte économique
- Intégration à l'échelle de l'Itinéraire technique, du système de culture
- Vers la définition des zones à conduite extensive ?

5 Réflexion sur l'introduction de la Robotique pour la lutte contre les ennemis des culture en Algérie

Détecter et éliminer les mauvaises herbes est aujourd'hui un gros problème chez les agriculteurs algériens. Le traitement actuel repose sur une pulvérisation de tout le champ avec un herbicide, qui couvre non seulement les mauvaises herbes mais aussi les cultures, d'autres agriculteurs ne traite même pas la culture, ce qui rend les mauvaises herbes incontrôlables et entraîne une réduction du rendement des cultures. Afin d'optimiser la récolte, les mauvaises herbes doivent être contrôlées et éliminées sans nuire aux cultures.

L'agriculture algérienne actuellement a atteint un degrés de mécanisation très satisfaisant, mais ce dernier a des conséquences désastreuses notamment en matière de compactage mais également sur l'environnement.

Une des opérations les plus fréquentes et les plus importantes en agriculture est l'application des pesticides, car les ennemis des cultures affectent en permanence la production végétale, et peuvent avoir un impact significatif sur le rendement et la qualité des cultures.

Les fongicides, herbicides et insecticides sont tous des pesticides utilisés dans la protection des plantes, la lutte est soit mécanique soit manuelles, toutes reposent sur un effort humain.

La figure ci dessous illustre la quantité excessive de pesticides rejetés dans l'environnement et l'exposition des agriculteurs à ces produits chimiques dangereux pendant le processus de pulvérisation.

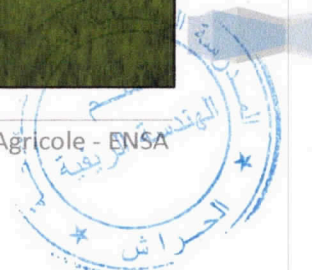
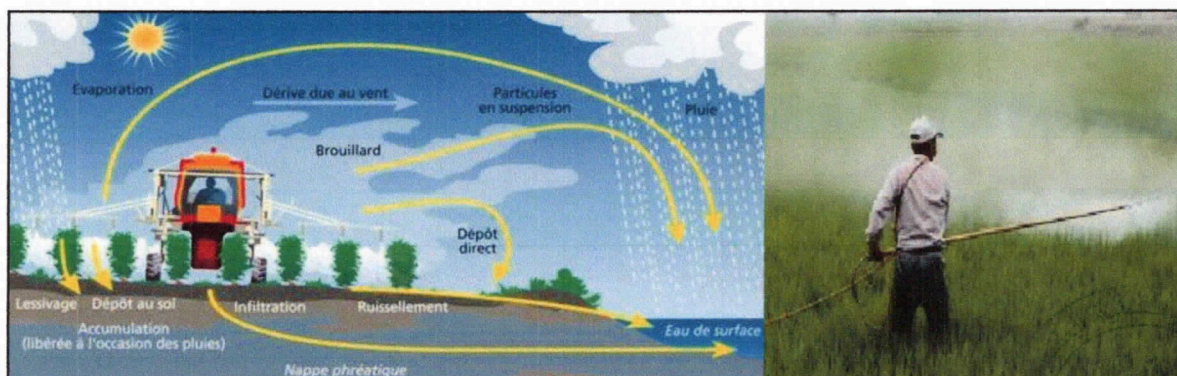


Figure 7.6 : effet des pesticides sur l'environnement et l'homme

L'introduction de la robotique en agriculture peut être une alternative aux méthodes de pulvérisation actuelles polluantes. En effet, elle offre de multiples avantages, tels que la sécurité de l'opérateur, cout, le temps et surtout un impact moins sur l'environnement.

En terme de sécurité, il évite à l'agriculteur de s'exposer aux produits chimiques. D'un autre coté, moins de pesticides signifie un produit alimentaire plus sain.

La Robotique peut réduire significativement les quantités de pesticides utilisées, par la précision de la cible à traiter. et à partir de la, l'impact sur l'environnement sera réduit significativement, contrairement aux méthodes actuelles qui utilisent des quantités substantielles de pesticides, ce qui cause généralement une pollution accrue des sols.

L'objectif principal futur est de mettre en place projet de conception d'un robot agricole léger, pouvant détecter les mauvaises herbes et les éliminer sur un type spécifique de cultures, en pulvérisant une petite quantité d'herbicide.

Le but de ce projet consiste à créer un fichier CAO qui montre à quoi ressemblerait le ce robot, qui par la suite pourra être commercialisé s'il s'avère efficace. Cette conception sera quelque chose qui se situe entre un prototype et un produit fini.

Il faut tout d'abord, développer un prototype performant qui pourrait montrer les avantages que peut offrir un robot afin d'attirer de futurs investisseurs.

5.1 Exemple de travaux réalisés par des chercheurs dans des pays méditerranéens

Des travaux très intéressants ont été menés par Christelle Gée , Ghislain Salis , Eric Busvelle, Benoît Gobin, Gawain Jones , Jean-Noël Paoli , Sylvain Villette.

Leurs activités de recherche sont axées sur « la réduction des intrants » et plus spécifiquement les solutions innovantes pour augmenter les performances et l'efficacité de machines agricoles tout en intégrant la dimension écologique. leur activité permet ainsi d'apporter cette dimension « machine » souvent absente du débat politique et scientifique et pourtant indispensable à une production agricole compétitive. Ils ont axé leur activités sur le traitement d'images en embarquant sur tracteur ou sur drone radiocommandé des systèmes de vision destinés à discriminer les plantes cultivées des adventices (Vioix et al., 2002 ; Vioix, 2004 ; Bossu ; 2007 ; Bossu et al., 2007). Leurs travaux ont été récompensés en 2011 par une



médaille d'argent au Salon International du Machinisme Agricole de Villepinte pour le développement de l'ILS (intelligent localized spray) conduit en partenariat avec la société Tecnomatix.

La plate-forme robotique développée par cette équipe de recherche est guidée par un GPS de haute-précision (RTK). La motorisation est électrique, les batteries assureront une autonomie d'une demi-journée. Le robot se déplace dans l'inter-rang de cultures agricoles et utilise une cuve et un système de pulvérisation sélectif puisqu'en amont de chaque buse est positionnée une électrovanne.

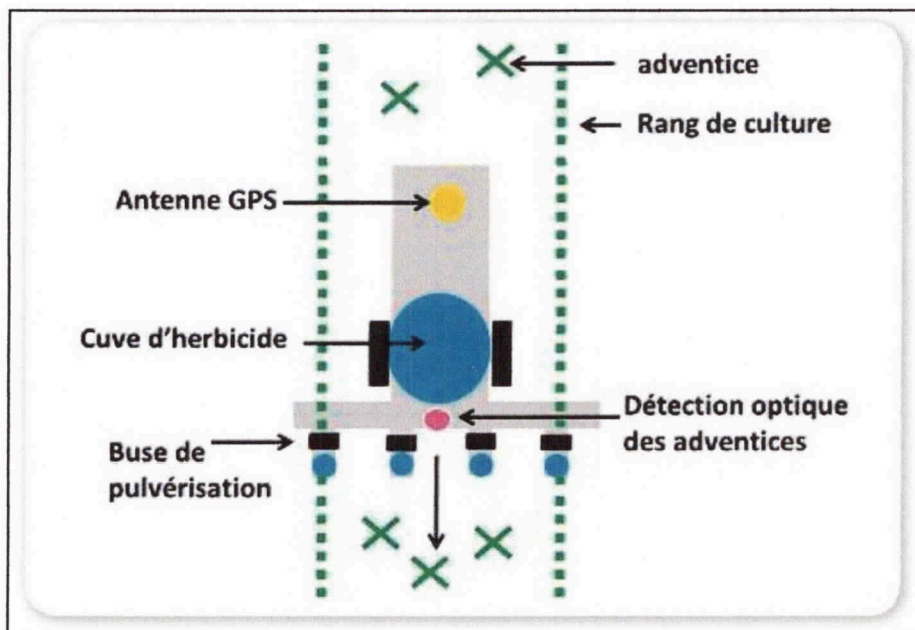


Figure 7.7 : vue schématique d'un Weed Robot

5.1.1 Le guidage par GPS

Ce robot est actuellement pilotable selon deux modes : radiocommande ou GPS. La radiocommande permet à l'agriculteur de guider le robot jusqu'à la parcelle désirée. Ensuite, il actionne le mode pilotage automatique par GPS pour le guidage du robot dans la parcelle. Ce robot est guidé par un GPS de haute-précision (RTK, précision de 2 cm) grâce notamment à un signal délivré par la société Sat-Info à Chalon-sur-Saône. Nous avons opté pour un guidage par GPS et non par vision car l'intérêt du GPS est la souplesse du système pour s'adapter à tous les types de situation et de culture. Il suffira d'enregistrer les trajectoires à suivre lors du semis pour qu'I-Weed Robot puisse circuler entre les rangs de la culture en place, et ce quel que soit son type. Il ne sera donc pas nécessaire de développer un algorithme de guidage pour chaque espèce de culture et/ou chaque stade de développement de la culture,

ce qui serait indispensable pour un système de guidage par caméra. Un filtre récuratif de Kalman (Kalman, 1960) est utilisé pour optimiser le signal GPS qui peut-être bruité. Les équations de Kalman sont bien connues et peuvent être redécouvertes dans les travaux de Boizot et Busvelle (2007) où d'autres exemples en temps réel sont proposés. Une trajectoire prédéfinie est enregistrée dans une carte SD, ensuite une loi de commande guide le robot entre les rangs de semis jusqu'à ce que le robot arrive en bout de rang (Ortiz et Olivares, 2006 ; Cariou et al., 2009 ; Lenain, 2010). A chaque instant, un correcteur proportionnel-intégral-dérivé (PID controller) ajuste la vitesse et l'orientation du robot à partir de sa position réelle et de sa position théorique (prédéfinie). Nous avons utilisé une carte électronique ARDUINO, permettant de créer des objets électroniques interactifs reposant sur un système open-source. La Figure suivante résume l'ensemble de ces procédures.

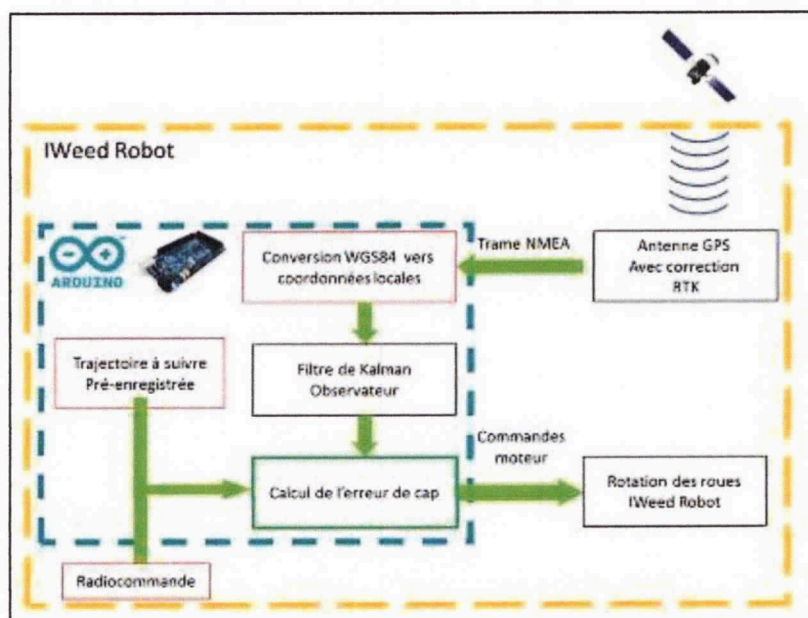


Figure 7.8 : organigramme de l'organisation des asservissements du robot.

L'utilisation d'un simple PID est suffisante pour travailler en parcelles agricoles puisque dans la plupart des cas, le robot se déplace en ligne droite à vitesse constante. Les trajectoires préenregistrées sont établies à partir de la création d'une droite de référence à partir de deux points prédéfinis manuellement et à partir de la connaissance de l'inter-rang du semis. On peut ainsi déterminer mathématiquement toutes les droites parallèles à droite ou à gauche de la ligne de référence. Après une procédure de demi-tour automatisé, l'algorithme de navigation est capable de déterminer la ligne droite qui lui est la plus proche afin de la suivre. L'ensemble de ces programmes (filtre de Kalman et PID) permettent de prédire à chaque

instant la meilleure position à prendre par le robot ; position déterminée comme étant un compromis entre la position prédéfinie et la position réelle.

5.1.2 La pulvérisation localisée : utilisation d'une caméra

L'I-Weed robot est équipé d'une rampe de pulvérisation où une électrovanne est positionnée en amont de chaque buse. Pour l'instant la pulvérisation sur le rang se fera en plein car les algorithmes ne permettent pas de séparer la culture des adventices. En revanche, sur l'inter-rang, nous utilisons une caméra pour réduire les intrants chimiques en reprenant le concept de l'ILS qui repose sur la prise d'image et le déclenchement d'une action de précision. Plus en détail, ce concept se décompose en trois étapes :

- la prise d'images par une caméra monochrome ayant un filtre infra-rouge embarquée à l'avant du robot ;
- l'analyse en temps réel de l'image pour extraire l'information sur les adventices situées dans l'entre-rang. Le traitement de l'image repose dans un premier temps sur l'identification de la végétation du reste de la scène par une approche spectrale. La végétation est identifiée grâce à un signal de réflectance plus élevé dans le proche infra-rouge que celui du sol. Dans un second temps, l'approche spectrale est couplée à une approche spatiale. Par l'utilisation d'une transformée de Hough optimisée (Jones et al., 2010), on identifie les rangs de culture. Ainsi, toute végétation (i.e. culture et/ou adventice) présente dans le rang est alors considérée comme de la culture (Figure 3). Cette méthode, qui est en cours d'amélioration, permet actuellement de réaliser une carte de localisation des adventices situées dans l'entre-rang ;
- le désherbage chimique localisé. Une fois la carte d'infestation réalisée, chaque électrovanne va être actionnée au bon moment et durant la bonne période.

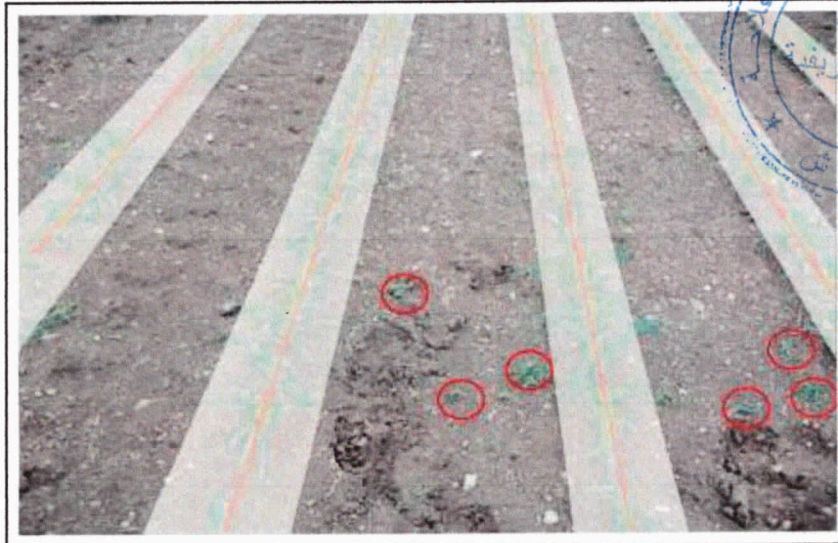


Figure 7.9 : Le traitement d'image pour détecter les adventices dans l'inter-rang d'une culture



Références bibliographiques

1. **Andre M et Marc S., 1991** - Physique du sol. Ed. Collection META. Lausanne, 1991, 335p.
2. **APAD, 2001**, TCS : l'agriculture sera durable ou elle ne sera pas, APAD, Paris, 6p.
3. **Bachmaier M, Gandorfer M., 2009** - A conceptual framework for judging the precision agriculture hypothesis with regard to site-specific nitrogen application. *Precis Agric* 10 : 95-110.
4. **Barthélémy P., Billot JF et Bodet JM., 1991** - Choisir les pneumatiques. Ed ITCF et CEMAGREF. France. 1991.
5. **Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1987** - Choisir les outils de travail du sol. Ed ITCF. France. 1987.
6. **Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1989** - Choisir les outils de semis. Ed ITCF. France. 1989.
7. **Barthélémy P., Boisgontier D et Lajoux P., 1990** - Choisir les outils de travail de pulvérisation. Ed ITCF. France. 1990.
8. **Bernard Angonin., 2013** - Règles de base de l'utilisation du tracteur – chambre d'agriculture de nouvelle Calédonie, plateforme machinisme agricole.
9. **Bernard Crochet., 2006** - *150 ans de machinisme agricole*, Éditions de Lodi, 2006, 398 p.
10. **Bernoux, M., Cerri, C. C., Cerri, C. E. P., Neto, M. S., Metay, A., Perrin, A. S., Scopel, E., Razafimbelo, T., Blavet, D., Piccolo, M. D., Pavei, M. & Milne, E. 2006.** Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 1-8
11. **Breda NJJ., 2003** - Ground-based measurements of leaf area index :Areview of methods, instruments and current controversies. *J Experiment Bot* 54 : 2403-2417.
12. **Camille C., 1991** - illustré du machinisme et des équipements agricoles (Collection Formagri). CEMAGREF-DICOVA et Lavoisier Tec et Doc
13. **Camille C., 1993** - Les matériels de fertilisation et de traitement des cultures (Collection Formagri). CEMAGREF, FNCUMA, ITCF, Lavoisier Tec et Doc.
14. **Camille C., 1997** - Les matériels de fertilisation et de traitement des cultures (Collection Formagri). CEMAGREF, FNCUMA, ITCF, Lavoisier Tec et Doc.
15. **Capillon, A. & Séguy, L. 2002.** Ecosystèmes cultivés et stockage du carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale. *Comptes - rendus de*
16. **CEMAGREF, 2002** - Fiches sécurité machines agricoles et forestières
17. **CEMAGREF., 1984** - Les matériels de récolte des fourrages (5ème partie). CEMAGREF. 3ème édition. 1984.
18. **CLAAS , XXXX.** Teaching software-Power point presentation on combine harvesters.
19. **Dalleine E. 1971** - "Techniques agricoles", fascicule n°504, CNEEMA, le chisel et le cultivateur n°163, pp 163-168.

20. **Derpsch, R. 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies, In García-Torres, L., Benites, J., Martínez-Vilela, A. (eds.), Proceedings of the first World Congress on Conservation Agriculture, Madrid (Spain), pp. 161-170.
21. **Derpsch, R. 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies, In García-Torres, L., Benites, J., Martínez-Vilela, A. (eds.), Proceedings of the first World Congress on Conservation Agriculture, Madrid (Spain), pp. 161-170.
22. **Dominic Archambault 2018** - Une pulvérisation qui atteint sa cible. ITA Saint-Hyacinthe.
23. **EL Aissaoui Abdellah., 2014** - Moissonneuse Batteuse: Fonctionnement, Réglage et Evaluation des Pertes. Fiche technique. Centre de Développement Agricole. Maroc.
24. **FAO., 2015** - Équipements de semis direct pour tracteurs (agriculture de conservation), Conservation Agriculture (CA) in FAO. Le numéro d'identification 8313.
25. **Girardin P., 1993** - Agriculture intégrée : au-delà des mythes... un défi, Cahiers Agricultures vol 2 n°2, pp141-145.
26. **Godwin R, Wood G, Taylor J, Knight S, Welsh J., 2003** - Precision farming of cereal crops :Areview of a six year experiment to develop management guidelines. Biosyst Eng 84 : 375-391.
27. **Hénin S., 1960** - Le profil cultural. Editions du Seuil.
28. **Jonckheere I, Fleck S, Nackaerts K, Muys B, Coppin P, Weiss M, Baret F., 2004** - Review of methods for in situ leaf area index determination. Agric Forest Meteorol 121 : 19-35.
29. **Magleby, R. 2002.** Soil managment and conservation. In Heimlich, R. (ed.), Agricultural resources and environmental indicators, USDA, Washington (USA), pp. 1-54.
30. **Masutti, C. 2004.** Le Dust Bowl, la politique de conservation des ressources et les écologues aux Etats-Unis dans les années 1930, Thèse de Doctorat, ULP, Strasbourg (France).
31. **Mazoyer, Roudart L., 1997** - Histoire des agricultures du monde - du néolithique à la crise contemporaine. Editions du Seuil.
32. **McBratney A, Whelan B, Ancev T, Bouma J., 2005** - Future directions of precision agriculture. Precis Agric 6 : 7-23. Plant RE (2001) Site-specific management : the application of information technology to crop production. Comput Electron Agric 30 : 9-29.
33. **Meynard J.M. et al. 1981** - Elaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne crayeuse. II-Types de réponse à la fumure azotée et application de la méthode du bilan prévisionnel. Agronomie, 1 (9), p.795-806.
34. **Nolot J.M., 1983** - Conduite de la culture du blé d'après les résultats de l'expérimentation Sud-Ouest de 1976 à 1981. ITFC, 15 p.
35. **Oestges., 1994** - La mécanisation des travaux agricoles - Tome 1. Les presses agronomiques de Gembloux.



36. **Philippe Lerat., 2002** - Les machines agricoles - Conduite et entretien, Tec & Doc (Editions).
37. **Tucker CJ., 1979** - Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens Environ 8 : 127-150.

Site internet

1. http://www4.ac-nancy-metz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/12_parcs-et-jardins/stockage_debatty-jc/f-materiels-creation-ev/7_charrues/charrues.pdf
2. <http://www.amazon.fr>
3. <http://www.berthoud.com/fr/>
4. <http://www.carre.fr>
5. <http://www.caseih.com/home.asp?Reg=EU&RL=FREU>
6. http://www.claas.com/fr/home_index_claasfr.htm
7. <http://www.gregoire-besson.fr>
8. <http://www.grimme.fr>
9. <http://www.horsch.com>
10. http://www.deere.com/fr_FR/
11. <http://www.kuhn.fr/internet/webfr.nsf/>
12. <http://www.kvernelandgroup.com/cgi-bin/ka.dll/kvg/index.jsp?s=GRP-IFR>
13. <http://www.ets-moreau.fr>
14. <http://www.newholland.com/h4/index.asp?Reg=FR&RL=FRFR&NavID=0000016870>
15. <http://www.quivogne.fr>
16. <http://www.sulky-burel.com/default.htm>
17. <http://www.tecnoma.com>
18. <http://www.vaderstad.com>
19. <https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/SIAFEEAGRONOMIE9cea/document/machinisme/index.htm>

Liens utiles

- Hay Harvesting in the 1940s instructional films, Center for Digital Initiatives, University of Vermont Library
- Worldwide Agricultural Machinery and Farm Equipment Directory
- Economic Situation of the agricultural machinery sector—VDMA Report
- Glossaire éducagri : ce dictionnaire en ligne recense de nombreux termes agricoles et leurs traductions en anglais, allemand, danois, italien...
- Site du profil culturel : ce site présente la méthodologie d'observation d'un profil culturel et donne quelques exemples illustrés. *Le guide méthodique du profil culturel* (Gautronneau & Manichon, 1987) ainsi qu'une fiche d'observation sont également disponibles au format pdf.

188



- Cemagref : ce site présente les activités et publications du centre d'étude du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts.
- CUMA : ce site présente la fédération nationale des CUMA (coopératives d'utilisation de matériel agricole), recense les manifestations concernant le machinisme (foires, salons) et fournit des fiches de mise aux normes des outils.