

Nom et prénom : Elhaitoum Ahmed

Grade : MCA

Domaine : SNV

Filière : Agronomie

Département : Agronomie

Unité Fondamentale : Conduite de l'Exploitation Agricole et Machinisme 45h

Cours : Partie Machinisme Agricole

Niveau : M1

Semestre : 2

Année : 2019/2020

Objectifs du cours:

Le cours est puisé du fond universel et il est structuré de manière à ce que l'apprenant puisse appréhender la conduite de l'exploitation agricole et distinguer, s'il le faut, la différence entre la conception des machines et leurs exploitations ou leurs adaptations aux conditions de nos exploitations agricoles. L'objectif principal est de mettre l'accent sur la description et le principe de fonctionnement des pièces actives en relation avec les itinéraires techniques de chaque catégorie d'exploitation agricole.

Résumé

Il est certain que le niveau de prise de décision se joue habituellement au niveau de l'exploitation agricole qui est considérée comme l'unité de base. Cependant, la conduite de l'exploitation agricole ne peut se concevoir sans les connaissances approfondies de leurs systèmes de productions les plus diverses qui restent liés à la diversité des exploitations agricoles d'où l'étude et l'analyse proprement dites de leurs typologies. Les exploitations agricoles doivent s'adapter impérativement aux variabilités interannuelles du climat, du moins pour celles qui sont soumises à un régime pluvial d'un côté et se sentent obligées de prendre en compte les propositions de développement qui leur sont faites de l'autre sans perdre de vue des contraintes internes. Le plus souvent, la caractérisation des exploitations agricoles est faite à partir des informations issues des enquêtes réalisées auprès des exploitants par les services de l'encadrement des agriculteurs DSA. Le machinisme agricole demeure déterminant quant à la structuration des exploitations agricoles. Leurs tailles et leurs vocations en dépendent énormément. C'est dans ce sens que nous

projetons faire la présentation et les choix aussi compatibles que possibles avec les itinéraires techniques mises en place. Les machines seront décrites, leurs fonctionnements expliqués et leurs réglages mis au point.

Sommaire

Tracteur

1-Tracteur conventionnel

1.1. Fonction

1.2. Éléments constitutifs

1.2.1. le moteur

1.2.2. Les roues

1.3. Les systèmes d'attelage

1.3.1. Barre d'attelage et broche d'attelage :

1.3.2. Piton d'attelage :

1.3.3. Attelage "trois points" :

1.3.4. La prise de force

1.4. Le poste de conduite

1.5. Électronique embarquée

2. Tracteur porte-outils

2.1. Utilisation

2.2. Avantages

2.3. Inconvénients

3. Tracteur à chenilles

3.1. Utilisation

3.2. Éléments constitutifs d'une chenille

3.2.1. Tuiles

3.2.2. Barbotin-moteur

3.2.3. Roue de tension

3.2.4. Roues centrales

4. Tracteur articulé

4.1. Description

4.2. Utilisation

4.3. Innovation technologique

5. Tracteur étroit

5.1. Utilisation

6. Tracteur enjambeur

6.1. Utilisation

6.2. Les pulvérisateurs enjambeurs

Outils de travail du sol

Introduction

Outils de travail profond :

1. Sous-soleuse

1.1 Utilisation

1.2. Fonctionnement

2. Décompacteur

2.1. Utilisation

2.2. Fonctionnement

3. Décompacteur rotatif

3.1. Utilisation

3.2. Fonctionnement

3.3. Réglages

4. Machine à bêcher

4.1. Utilisation

4.2. Fonctionnement

4.3. Réglages

5. Charrue à disques

5.1. Utilisation

5.2. Fonctionnement

5.3. Réglages

6. Charrue à versoirs

6.1. Utilisation

6.2. Fonctionnement

6.3. Les différents types

6.3.1. Classification selon le type de labour

6.3.2. Classification selon le mode d'attelage

6.3.3. Les charrues à versoirs spécialisées

6.4. Réglages

7. Cultivateur

7.1. Fonctionnement

7.2. Les différents types

7.2.1. Les réglages

8. Cultivateur rotatif

8.1. Utilisation

8.2. Fonctionnement

8.3. Réglages

Outils de travail superficiel :

1. Outils à disques

1.1. Utilisation

1.2. Fonctionnement

1.3. Les différents types d'outils à disques

1.3.1. Les déchaumeurs à disques

1.3.2. Les pulvérisateurs "offset" ou "cover-crop"

1.3.3. Les pulvérisateurs tandem

1.3.4. Réglages

2. Bineuse

2.1. Utilisation

2.2. Fonctionnement

2.3. Les différents types

- 2.3.1. Les outils fixes**
 - 2.3.2. Les outils rotatifs**
 - 3. Herse classique**
 - 3.1. Utilisation**
 - 3.2. Fonctionnement**
 - 3.3. Les différents types**
 - 4. Herse rotative**
 - 4.1. Utilisation**
 - 4.2. Fonctionnement**
 - 4.3. Réglages**
 - 5. Herse alternative**
 - 5.1. Utilisation**
 - 5.2. Fonctionnement**
 - 5.3. Réglages**
 - 6. Bêche roulante et outils auto-animés**
 - 6.1. Utilisation**
 - 6.2. Fonctionnement**
 - 6.3. Réglages**
 - 7. Autres outils auto-animés**
 - 8. Rouleaux**
 - 8.1. Utilisation**
 - 8.2. Les objectifs**
 - 8.3. Les différents types**
 - 8.3.1. Les rouleaux lisses**
 - 8.3.2. Les rouleaux squelettes**
 - 8.3.3. Les rouleaux croskill**
 - 8.3.4. Les rouleaux étoile (herse norvégienne)**
- Matériel de plantation et de semis**
- 1. Semoir en ligne**
 - 1.1. Utilisation**
 - 1.2. Fonctionnement**
 - 1.3. Description des éléments constitutifs**
 - 1.3.1. Équipements accessoires**
 - 1.4. Les réglages**
 - 2. Semoir monograine**
 - 2.1. Utilisation**
 - 2.2. Fonctionnement**
 - 2.3. Les différents types de semoirs**
 - 2.3.1. Les accessoires**
 - 2.4. Réglages**
 - 3. Planteuse**
 - 3.1. Utilisation**
 - 3.2. Les différents types de planteuses**

3.2.1. Description des éléments constitutifs

3.3. Les réglages

4. Repiqueuse

4.1. Les planteuses-repiqueuses de plants

4.2. Les planteuses automatiques de mini-mottes

Matériels de traitement et de fertilisation

1. Pulvérisateur

1.1. Fonction

1.2. Constitution et principes de fonctionnement

1.2.1. Cuve

1.2.2. Système de distribution

1.2.3. Système de transfert de liquide

1.2.4. Système de division du liquide en gouttelettes

1.2.5. Système de transfert de gouttes

1.2.6. Système de régulation

1.3. Les différents types de pulvérisateurs

1.3.1. Pulvérisateurs à pression de liquide et à jet projeté

1.3.2. Pulvérisateurs centrifuges

1.3.3. Pulvérisateurs pneumatiques

2. Epandeur à fumier

2.1. Utilisation

2.2. Eléments constitutifs et fonctionnement

2.2.1. Citerne

2.2.2. Système d'alimentation

2.2.3. Système d'épandage

2.2.3.1. Epandeurs à projection arrière

2.2.3.2. Epandeurs à projection latérale

3. Epandeur à lisier

3.1. Fonction

3.2. Eléments constitutifs

3.2.1. Citerne

3.2.2. Pompe

3.2.3. Système d'épandage et système d'incorporation diffuseurs en nappe

3.2.4. Rampes avec tuyaux traînants :

3.2.5. Système d'enfouissement

4. Distributeur d'engrais

4.1. Fonction

4.2. Eléments constitutifs

4.3. Les différents types de distributeurs d'engrais et leur mode de fonctionnement

4.3.1. Distributeurs d'engrais centrifuges

4.3.2. Distributeurs d'engrais pneumatiques

4.3.3. Distributeurs localisateurs d'engrais

4.3.4. Les distributeurs localisateurs

Matériel de récolte

Introduction

1. Moissonneuse batteuse

1.1. Fonction

1.2. Eléments constitutifs

1.2.1. Les éléments de base

1.2.2. Les équipements complémentaires

1.2.3. Les équipements de récolte des oléo-protéagineux : modifications du

1.2.4. Innovations technologiques

1.3. Réglages

Tracteur

Introduction

Vous trouverez dans cette partie une présentation des outils les plus fréquemment utilisés classés en fonction de leur utilisation (traction, travail du sol, implantation, fertilisation, irrigation, récolte), en relation avec la rubrique technique culturale. Pour chaque outil seront faites une brève description ainsi qu'une présentation des différents types, de leur mode de fonctionnement et des réglages à effectuer. 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'outil.
- Les **automoteurs** : L'outil fait partie intégrante du tracteur qui est ainsi dédié à une seule fonction

1. Tracteur conventionnel

1.1. Fonction

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.

1.2. Eléments constitutifs

1.2.1. Le moteur

La motorisation agricole s'est développée en à peine un siècle, pour aboutir aujourd'hui à la suprématie, si ce n'est le monopole, du moteur Diesel pour ce qui est des moteurs thermiques (sauf encore pour les petites cylindrées), les moteurs électriques restant confinés aux applications dites « d'intérieur des exploitations agricoles », sauf pour quelques cas où l'on fait alors appel au courant continu issu de la batterie. Examinons donc davantage le cas actuel du moteur Diesel utilisé en agriculture, après une constatation : l'homme n'est capable de fournir de façon prolongée que 0,1 ch. Et encore au bout d'une journée de dix heures (comme cela se produit en agriculture) tombera-t-il exténué dans son lit pour finalement l'équivalent d'une tasse de F.O.D. (fuel-oil domestique) qu'aurait consommé pour le même travail son tracteur ! Le moteur Diesel agricole se distingue du moteur de camion par une vitesse de rotation lente, généralement de l'ordre de 2 000 à 2 500 tr/mn. Mais il est aussi particulier car il se substitue souvent au châssis : il sert de point d'appui aux roues avant et à la fixation de masses d'alourdissement pour l'équilibrage, tandis qu'embrayage, boîte de vitesses et pont s'empilent à sa suite pour constituer la

charpente même du tracteur. La puissance aujourd'hui atteinte et la résistance éventuelle à l'avancement (trop forte adhérence) risquant d'entraîner des ruptures dans les transmissions, on tend à introduire des limiteurs de couple et autres dispositifs de sécurité (par exemple : limitation automatique de l'injection).

Le turbocompresseur refroidi prend de plus en plus d'importance en raison de son ratio coût/efficacité favorable. Ultérieurement, on verra probablement apparaître des turbos à géométrie variable, puis des turbos « compound » en circuit isolé. La puissance massique devrait s'accroître pour atteindre 3 kg/kW. Les céramiques seront introduites progressivement en raison de divers avantages pour un certain nombre de pièces constitutives : frottements réduits, températures de fonctionnement plus élevées, résistance à la corrosion.

La régulation électrique de l'injection apparaît inéluctable pour obtenir une courbe de couple favorable. L'un des objectifs est aussi de commander l'injection stratifiée. Ainsi le contrôle électronique de l'injection opérera-t-il sur le débit, la durée, la stratification, avec un ajustement tenant compte de l'environnement (température, pression). En effet, l'usage de multiples sondes (capteurs) se prépare, y compris dans le but d'établir des diagnostics plus ou moins en permanence. La régulation du régime devrait pouvoir se faire à environ 4 % près, ses variations étant fonction de la charge.

Tout ceci aura pour résultat une véritable optimisation du fonctionnement du moteur du tracteur. L'augmentation de la puissance massique atteinte grâce à tous ces artifices permettra d'avoir des tracteurs plus puissants sans être plus encombrants : les gammes resteront de 3, 4 ou 6 cylindres.

Les moteurs des engins de traction agricoles sont généralement des moteurs thermiques (le travail mécanique résulte de la transformation de la chaleur issue d'une combustion vive). Le combustible utilisé est le fioul domestique probablement détaxé pour les usages agricoles. Le moteur est caractérisé par sa puissance en ch. ou kW. 1ch = 0,736 kW. La Puissance est d'environ 100 ch. L'embrayage sert à changer les vitesses en désolidarisant le moteur de la boîte de vitesse (le moteur tourne et la boîte devitesse est arrêtée).

1.2.2. Les roues

Une roue peut jouer un rôle moteur et/ou directeur ou bien simplement porteur :

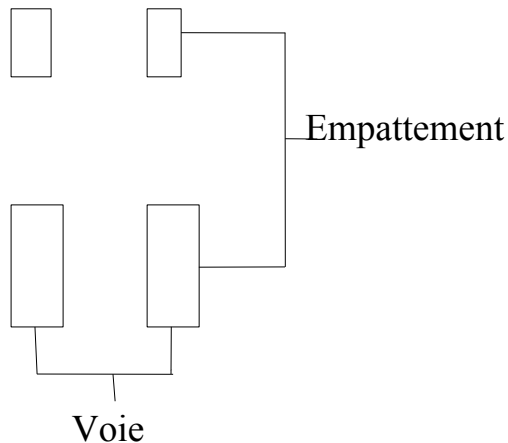
-Roue motrice : entraînée en rotation par le couple moteur, elle assure la propulsion du tracteur.

-Roue directrice : directement soumise à l'action du volant, elle pivote autour d'un axe perpendiculaire au châssis, et assure ainsi le guidage du véhicule.

-Roue porteuse : sa fonction principale est de porter la charge lui étant appliquée. Certains dispositifs particuliers peuvent être rencontrés (jumelage des roues, chenilles, (cf. fiche "tracteurs à chenilles")) de manière à améliorer l'adhérence et ainsi limiter les pertes énergétiques par glissement ou patinage. Le recours aux pneumatiques basse pression permet également de limiter l'effet tassement du sol.

Empattement : distance d'axe en axe de 2 roues situées sur 2 essieux différents.

Voie : est la distance d'axe en axe de 2 roues situées sur 1 même essieu.



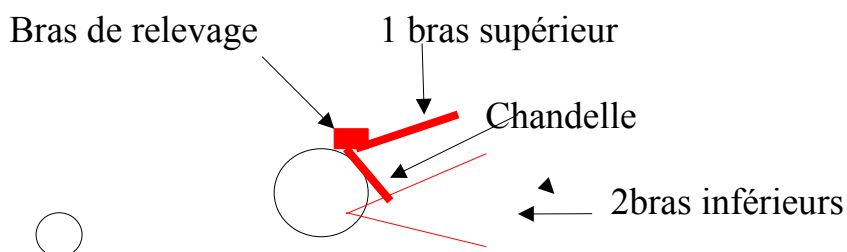
1.3. Les systèmes d'attelage

1.3.1. Barre d'attelage et broche d'attelage : sont utilisées pour tracter des "outils trainés"

1.3.2. Piton d'attelage : est réservé à l'attelage des remorques "semi-portées".

1.3.3. Attelage "trois points" :

Actionné par le **relevage hydraulique**, cet attelage supporte tout ("outils portés") ou une partie ("outils semi-portés") du matériel, grâce à trois points de



1.3.4. La prise de force

C'est l'émergence des tracteurs de **forte puissance**, couplée au développement des **transmissions hydrauliques** qui a permis l'essor des prises de force, **véritables prises de mouvement**, transmettant l'énergie du moteur à une machine réceptrice. Traditionnellement située à l'arrière des tracteurs la prise de force assure l'animation des outils dits "animés". Prise de force (P T O = power take off)

-PTO = 540 tours/mn Outils demandant peu de puissance

-PTO = 1000 rpm destinée pour les gros outils de travail du sol comme les herse rotatives, broyeurs...etc.

-PTO = 750 rpm conçue être utilisée aux pulvérisateurs, et aux distributeurs d'engrais...etc.

1.4. Le poste de conduite

Grâce aux innovations technologiques permanentes, les postes de conduite sont de plus en plus équipés en termes de:

- **Confort** (ergonomie, sièges suspendus, climatisation, visibilité panoramique...),
- **Sécurité** (cabines, cadres et arceaux de sécurité doivent répondre aux exigences des normes SPCR = structure de sécurité en cas de renversement)
- **Aide à la conduite** (automatisme de commandes, ordinateur de bord, GPS).

1.5. Électronique embarquée

Tous les constructeurs équipent désormais leurs tracteurs haut de gamme de **consoles électroniques**. Quelques utilisations :

- **Contrôle des outils attelés** depuis la cabine.
- **Trajectoires assistées par GPS** : l'agriculteur peut maintenir sa trajectoire parfaitement **rectiligne** (voire **curviligne**) et **parallèle** à la traversée précédente. Ces systèmes de guidage permettent donc d'éviter les trajectoires chevauchantes.
- **Cartographie**: La technologie GPS permet également l'établissement de cartes de rendement, de fertilité des sols... exploitées dans le cadre de l'agriculture de précision (cf. rubrique agriculture de précision).

A titre d'exemples, on peut citer les consoles "Greenstar" de John Deere, "Outbacks" d'Agrocom, "Fieldstar" de Massey Ferguson, "Auto-guide™" de Challenger).

2. Tracteur porte-outils

2.1. Utilisation

Les tracteurs porte-outils sont utilisés pour **pousser, porter ou tirer des outils** (mais ces tracteurs ne sont plus fabriqués actuellement).

La particularité de ces tracteurs réside dans **l'emplacement du bloc moteur**. En effet, le moteur, les transmissions et le système hydraulique du porte-outils forment un ensemble compact entièrement disposé **sous la cabine de conduite** (alors qu'ils sont traditionnellement localisés à l'avant sur les autres tracteurs). Il s'en suit une visibilité accrue, par rapport aux tracteurs conventionnels, ainsi qu'une large place disponible à l'avant pour une plate-forme porte-outils.

2.2. Avantages

- Excellente **visibilité**,
- Bonne **maniabilité**,

- Très polyvalent (polyvalence équivalente à un tracteur conventionnel de moyennepuissance).

2.3. Inconvénients

- **Perte de performance dans les lourds travaux de traction** pour lesquels il n'est pas conçu.

3. Tracteur à chenilles

3.1. Utilisation

Le chenillard, muni de chenilles caoutchoutées en guise d'organes de propulsion, a été conçu pour diminuer le tassement du sol et parcourir les terrains vallonnés. En augmentant considérablement la surface de contact avec le sol, il génère une meilleure répartition du poids du tracteur et offre donc une très bonne adhérence, ce qui limite les problèmes de glissement sur les terrains de faible portance.

3.2. Eléments constitutifs d'une chenille

3.2.1. Tuiles

Pièces métalliques munies de barrettes et articulées entre elles pour former la bande de roulement. Les chenilles pour usages agricoles sont généralement disponibles en 3 largeurs (699, 762 ou 914 mm).

3.2.2. Barbotin-moteur

Reliée aux tuiles par l'intermédiaire d'une chaîne, cette roue à dents ou pignons est responsable de l'entraînement de la chenille.

3.2.3. Roue de tension

Positionnée à l'opposé du barbotin-moteur, cette roue tourne librement et maintient la tension de la chenille.

3.2.4. Roues centrales

Développées sur les machines récentes, ces roues semi-suspendues indépendantes, permettent aux chenilles d'épouser parfaitement la géométrie du terrain et de limiter l'impact des dénivellations.

4. Tracteur articulé

4.1. Description

Le tracteur articulé, équipé de quatre roues motrices, possède un châssis constitué de deux éléments mobiles autour d'une **articulation centrale**. La direction de l'engin est assurée non par les roues mais par l'angle de rotation des 2 parties mobiles articulées. Ce système offre une bonne **manœuvrabilité**: grâce au court rayon de braquage, l'agriculteur peut exploiter au mieux la superficie du champs en effectuant des virages très près des bordures.

4.2. Utilisation

Ces tracteurs ultra-puissants (de 300 à 500Ch), sont destinés à tracter de lourdes charges, telle une sous-soleuse qui nécessite de disposer d'un maximum de puissance pour maintenir l'outil à la juste profondeur de travail.

Ce genre de tracteurs articulés ne sont fabriqués que par très peu de tractoristes et ne sont quasiment pas commercialisés en France. (L'essentiel de la production est commercialisé aux USA). Seul Valtra a développé un tracteur articulé de moyenne puissance, destiné principalement à réaliser des travaux de chargement (cf. Outils de transport/manutention).

4.3. Innovation technologique

Le constructeur Case IH a breveté un système de **double articulation** du pont avant nommée "Accusteer". En plus d'offrir un angle de braquage plus important (+/- 10 °), l'Accusteer, de part sa position en amont de l'articulation centrale, évite aux outils tractés de dévier, ce qui s'avère intéressant pour les opérations sur cultures linéaires (en particulier pour le semis).

5. Tracteur étroit

5.1. Utilisation

De puissance généralement inférieure à **80 Ch.**, ces tracteurs étroits et légers, ont été conçus pour travailler dans les cultures à inter rang étroit.

Selon le type de cultures concernées, on parlera de "**tracteur fruitier**", "**vigneron**" ou encore de "**tracteur arboricole**". Compte tenu de l'espace réduit dans lequel le tracteur est amené à évoluer, la maniabilité est accrue pour permettre un braquage très court.

6. Tracteur enjambeur

6.1. Utilisation

Les tracteurs enjambeurs, équipés d'un **châssis à portique**, sont utilisés dans le cas de cultures exigeant une **garde au sol** (distance entre le point le plus bas du châssis et le sol) importante, telles que les vignes et les cultures arbustives.

Contrairement aux grandes cultures, ces cultures spécialisées ne nécessitent pas l'intervention de tracteurs de grande puissance. Les tracteurs de moins de 100 Ch. Sont parfaitement adaptés, et peuvent par ailleurs être munis de 2 ou 4 roues motrices.

6.2. Les pulvérisateurs enjambeurs

Le châssis des enjambeurs est également exploité pour construire des "**pulvérisateurs enjambeurs**" destinés à traiter les végétations hautes comme le maïs.

Outils de travail du sol

Introduction

Les outils de travail du sol sont très variés. Ils se différencient les uns des autres par:

- la nature des pièces travaillantes (outils à disques, outils à dents, outils à pointes, outils à versoirs, rouleaux)
- l'animation ou non des pièces travaillantes par la prise de force du tracteur (outils animés, outils auto-animés, outils non-animés)
- le type de travail réalisé (outils de travail profond, outils de travail superficiel). Par ailleurs, les noms utilisés pour désigner un même outil peuvent être nombreux : ils rappellent selon le cas l'effet obtenu (scarificateur, extirpateur, cover crop), la marque ou le constructeur. Pour chaque outil, nous nous sommes efforcés de donner les synonymes courants, sans toutefois rechercher l'exhaustivité.

Outils de travail profond :

1. Sous-soleuse

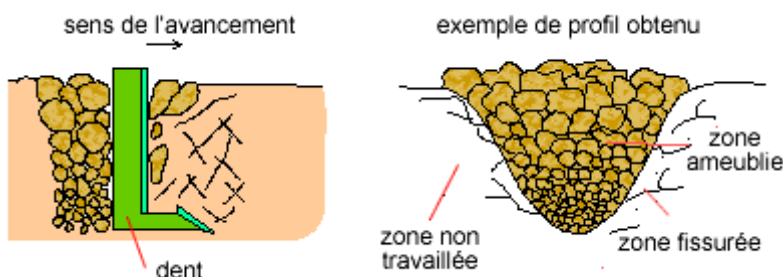
1.1 Utilisation

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.

2.3. Fonctionnement

La qualité du travail du sol avec une sous-soleuse dépend de la vitesse de travail, de la profondeur de travail, de l'espacement entre les dents et de la pointe utilisée.

À utiliser absolument en saison sèche pour éviter le lissage.



2. Décompacteur

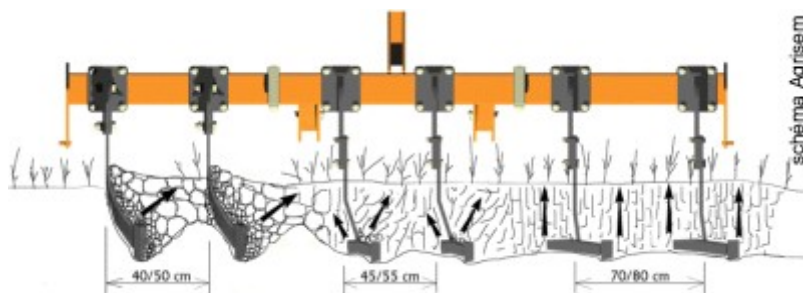
2.1. Utilisation

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. 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.

2.2. Fonctionnement

Chaque dent est constituée d'un étançon muni d'un soc. L'étançon peut être droit ou constitué d'une lame oblique ou galbée (on parle alors de lame-étançon). Les socs peuvent être à pointe, à ailette ou patte d'oie. La présence d'ailette permet d'accroître le volume de sol éclaté lors du passage de la dent. Les dents droites offrent une bonne pénétration et bouleversent peu la surface du sol. Les lames étançons obliques ou galbées agissent en fendant le sol tout en le soulevant ; afin de compenser le dénivellement du sol qui résulte de l'action de l'outil, on adjoint au décompacteur un rouleau.



Il existe des décompacteurs dont les dents sont animées d'un mouvement vibratoire par la prise de force du tracteur, ce qui augmente la capacité d'éclatement. Les matériels proposés comportent jusqu'à 6 dents travaillant la terre sur une largeur de 3 mètres et une profondeur de 50 cm. Une roue de jauge ou un rouleau sont indispensables pour régler la profondeur du travail et stabiliser l'outil. Le rouleau permet également d'émettre les mottes en surface et de rappuyer la couche compactée.

3. Décompacteur rotatif

3.1. Utilisation

Il s'agit d'un outil de travail profond, animé par la prise de force du tracteur, dont les dents tournent avec une faible vitesse de rotation. Les pièces travaillantes sont de grande dimension, tournant autour d'un axe horizontal dans le sens d'avancement du tracteur. Il s'agit en fait d'un cultivateur rotatif lourd, d'abord utilisé pour réaliser un véritable travail de décompactage profond. Cet outil

permet également d'enfouir une quantité importante de matière organique (résidus, amendements). La lenteur de la vitesse d'avancement en limite l'emploi en grandes cultures ; il est surtout utilisé en culture pérenne pour préparer le sol en profondeur avant plantation ou en culture maraîchère.

3.2. Fonctionnement

C'est la vitesse d'avancement du tracteur, conjuguée à celle de la rotation des dents, qui détermine le degré d'émiettement de la terre. La vitesse de rotation est adaptée à la vitesse d'avancement du tracteur. Les mottes de terre sont projetées à l'arrière de l'appareil. La présence d'un tablier permet d'accroître le degré d'émiettement.

3.3. Réglages

La longueur des dents et leur écartement sur le bâti sont choisis en fonction de l'épaisseur de la couche de terre que l'on veut travailler, de la puissance de traction dont on dispose et des conditions du travail à réaliser : type de sol, état de compacité, humidité, volume de matière organique à enfouir. Une roue de jauge permet de régler la profondeur de travail. Un tablier monté à l'arrière de l'appareil. Lorsqu'un tablier est présent, son degré d'inclinaison permet de jouer sur la fragmentation des mottes de terre projetées en l'air par les dents.



Schéma du mode d'action d'un décompacteur rotatif

4. Machine à bêcher

4.1. Utilisation

La machine à bêcher, aussi appelée charrue à bêches rotatives ou roto-bêche, est un outil mécanique tracté qui réalise un travail du sol profond remarquable par l'importance de la fragmentation et la qualité de l'enfouissement des débris végétaux. La profondeur de travail peut atteindre 50 cm.

4.2. Fonctionnement

Les pièces travaillantes sont des fers de bêche robustes (actionnés par un ensemble bielles vilebrequin) qui, en prenant appui au sol, soulagent l'effort de traction et permettent ainsi de mieux utiliser la puissance du tracteur. La puissance nécessaire est entièrement transmise par la prise de force du tracteur et par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse pour certains modèles. L'engin travaille de la même manière qu'une bêche à bras. Selon le poids au mètre, on distingue 3

gammes de machine à bêcher : (> 450 Kg, 450 à 600 kg, et > 650 Kg). Ces machines sont très utilisées en maraîchage, un peu moins en grande culture : on leur reproche leur lenteur et, surtout, de souvent trop fragmenter le sol, ce qui diminue sa portance pour les travaux ultérieurs. Les plus lourdes sont parfois utilisées pour défricher (une jachère, une ancienne prairie).

4.3 Réglages

- La vitesse d'avancement du tracteur et celle de rotation des bêtes déterminent l'épaisseur des blocs découpés. La vitesse de travail est très faible (2,5 Km/h environ).
- La profondeur de travail peut aller de 15 à 50 cm. Elle est réglable grâce à des patins.
- L'enfouissement des débris végétaux et le degré de fragmentation peuvent être modifiés par un tablier réglable.

5. Charrue à disques

5.1. Utilisation

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.

5.2. Fonctionnement

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 déflecteur 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.

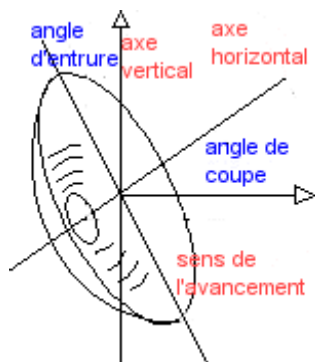
Il existe des charrues à disques portées ou semi-portées. La plupart d'entre elles réalisent un labour en planches mais certaines, par un pivotement de chaque disque autour d'un axe peuvent effectuer un labour à plat.

5.3. 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. 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.



Les angles de travail d'un disque de la charrue à disques

6. Charrue à versoirs

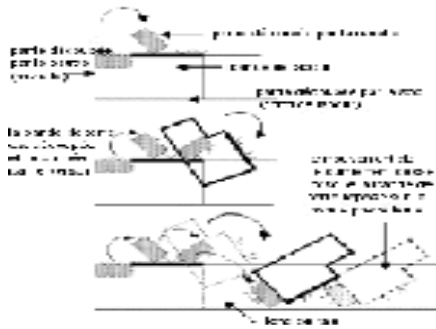
6.1. Utilisation

La charrue à versoirs (souvent improprement appelée 'charrue à socs' est un instrument de préparation du sol qui permet de réaliser un labour, technique de travail profond qui consiste à découper et retourner une bande de terre.

6.2. Fonctionnement

Une charrue à versoirs se compose de plusieurs **corps de labour**, constitué chacun d'un ensemble de pièces travaillantes : un **coutre**, un **soc** et un **versoir**. Les corps sont fixés au bâti par un **l'étauçon**. Le **talon**, le **sep** et le **contre-sep** assurent la stabilité de la charrue en mouvement. Celle-ci comporte également une tête d'attelage et, souvent, des **rasettes** : ce sont des sortes de corps miniature qui comprennent un soc et un versoir et dont la fonction est d'accroître l'efficacité d'enfouissement de la charrue.

La figure ci-dessous représente le mouvement de la bande de terre dans un plan perpendiculaire au sens d'avancement de la charrue.



La bande de terre est découpée verticalement par le coutre et horizontalement par le soc. Elle est ensuite soulevée 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.

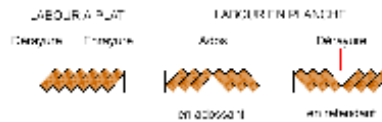
Enfin, les charrues modernes sont équipées de dispositifs de sécurités dits "non-stop" qui permettent de travailler en présence d'obstacles dans le sol : grâce à des vérins hydrauliques ou à des ressorts, les corps s'effacent lorsqu'ils rencontrent un obstacle en profondeur (roche, souche).

6.3. Les différents types

6.3.1. 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 tracteur se trouvant ainsi incliné.



Les différents types de labours

6.3.2. Classification selon le mode d'attelage

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

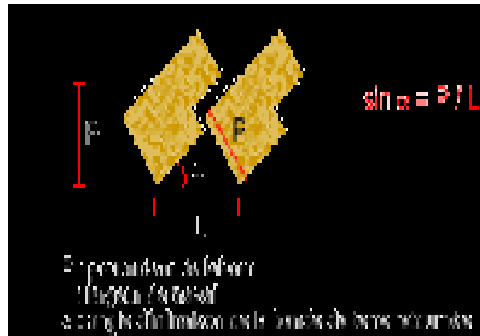
- Sont reliées au tracteur par l'intermédiaire de l'attelage 3 points. Avec ce matériel, le nombre de corps est limité. Il présente toutefois l'avantage de pouvoir transférer une partie de son poids sur le tracteur et d'améliorer l'adhérence.
- **Les charrues semi-portées** sont attelées sur des barres 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.
- **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 en France.

6.3.3. Les charrues à versoirs spécialisées

Enfin, il existe différents types de charrues à versoirs, spécialisées pour des usages particuliers :

- **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.
- **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.
- **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...).
- **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 monosocs, équipées de versoirs cylindriques.
- **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, pour laquelle on peut utiliser également de très nombreux outils (chisel, cultivateur, pulvérisateur à disques.).



6.4. Réglages

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.

- **La profondeur** 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.
- **L'aplomb** doit être réglé de manière à ce que la charrue soit perpendiculaire au plan du sol, malgré l'inclinaison du tracteur.
- **Le talonnage** est le réglage qui assure le parallélisme du bâti de la charrue avec la surface du sol.
- 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.
- La **vitesse d'avancement** de la charrue fait partie des réglages : le degré d'émiettement, l'inclinaison dépendent de l'état du sol au labour (humidité, état structural) mais également de la vitesse au labour.
- Les rasettes, les versoirs, les coutres et les socs présentent des formes très variées, qui permettent d'adapter la charrue aux conditions locales de terrain et de système de culture. Ainsi il existe des rasettes polyvalentes, à fumier, à paille, à maïs. Les versoirs peuvent être hélicoïdaux, cylindriques ou universels (les premiers accompagnant la bande de terre

plus longtemps la retournent mieux) ; ils peuvent être équipés de prolonges de versoir ; les versoirs losanges ont été conçus pour faciliter le passage des pneumatiques dans la raie et limiter le déport longitudinal ; enfin, plusieurs systèmes ont été testés pour diminuer le frottement de la terre sur le versoir, qui accroît très fortement la force de traction en terre argileuse : les systèmes les plus utilisés sont les versoirs à claire-voie. Le contre peut être droit, circulaire ou intégré au versoir (cette dernière solution est désormais la plus employée). Enfin les socs, lames plates ou légèrement incurvées, plus ou moins trapézoïdales, subissent une usure importante et peuvent être équipés d'un bec, d'une pointe ou d'un carrelot qui accroissent leur pouvoir de pénétration.

7. 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.

7.1. 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.

7.2. Les différents types

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.



Dents en "S" de cultivateur léger

▪ **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')

▪ **Les cultivateurs légers**

Ils sont utilisés 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.

7.2.1. Les réglages

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 bêches roulantes.

8. Cultivateur rotatif

8.1. Utilisation

Les cultivateurs animés par la prise de force du tracteur sont connus depuis le début de la motorisation. Très utilisés en maraîchage, ces outils ne se sont véritablement développés en grande culture que depuis le milieu des années 70. Ils présentent le double avantage d'utiliser bien mieux que les outils attelés la puissance développée par le moteur et de diminuer l'effort de traction.

L'efficacité des pièces travaillantes est en effet plus grande avec ce type d'outil, car la vitesse d'action des pièces travaillantes est bien plus élevée, la vitesse d'avancement se combinant à la vitesse propre de la dent. Ainsi, à travail

identique, l'énergie nécessaire est du même ordre de grandeur qu'avec un outil simplement traîné. Ces outils effectuent un travail d'émiettement très important sur une profondeur qui peut aller jusqu'à 40 cm.

8.2. Fonctionnement

Le cultivateur rotatif à axe horizontal, également appelé houe rotative, comporte un rotor équipé de pièces travaillantes tournant de 100 à 300tr/min autour de l'axe horizontal perpendiculaire à l'avancement. Les pièces travaillantes sont des lames coudées de grande dimension (rotavoator) ou des lames droites (rototiller, cultirateur). La vitesse d'avancement du tracteur conjuguée à la vitesse de rotation détermine l'émiettement, qui est extrêmement important comparé à celui obtenu avec un outil simplement traîné. La présence d'un tablier réglable permet d'accroître encore cet émiettement par projection contre les tôles. Enfin, ces cultivateurs peuvent être associés à un semoir à céréales pour une implantation en un seul passage après le labour.

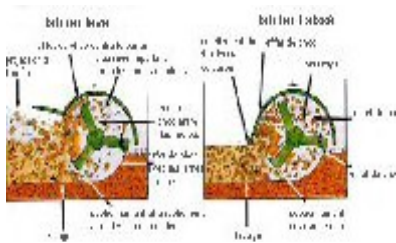


Schéma du mode d'action du cultivateur rotatif à axe horizontal

8.3. Réglages

La **profondeur de travail** se règle à l'aide de patins, de roues de jauge ou grâce au rouleau arrière. On peut jouer sur le **degré d'émiettement** en ajustant la vitesse de rotation des dents, leur nombre la position du tablier ou la vitesse d'avancement du tracteur. La position du tablier joue également sur la **qualité de l'enfouissement des débris végétaux** : s'il est baissé ces derniers sont recouverts par la terre fine résultant de l'éclatement des mottes sur la tôle ; s'il est levé, les débris restent plutôt en surface. Le type de pièce travaillante joue également sur le **degré de nivellement de la surface** : les lames coudées laissent un sol mieux nivelé que les lames droites.

Outils de travail superficiel :

1. Outils à disques

1.1. Utilisation

Les outils à disques sont utilisés pour ameublir le sol et détruire les mauvaises herbes. Suivant leur usage, les outils à disques sont appelés déchaumeuses à disques ou pulvérisateurs à disques.

1.2. 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 charrues à disques, 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.

1.3 Les différents types d'outils à disques

On distingue différents types suivant la disposition et le nombre de trains de disques :

1.3.1. Les déchaumeurs à disques

Elles sont constituées d'un seul train de disques disposés en oblique par rapport au sens d'avancement.

1.3.2. 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 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.

1.3.3. Les pulvérisateurs tandem



Pulvériseur 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).

1.3.4. Réglages

- **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)

2. Bineuse

2.1. Utilisation

La bineuse est un outil destiné à effectuer un travail très superficiel d'entretien du sol et de binage, dans des cultures disposées en ligne (betterave, vigne, etc.). L'objectif premier est de détruire les adventices. Cependant, en fragmentant la partie la plus superficielle du sol qui va ensuite s'assécher fortement on crée une discontinuité dans le cheminement de l'eau du sol vers la surface : le binage contribue ainsi également à préserver l'eau du sol.

2.2. Fonctionnement

Les bineuses récentes travaillent sur plusieurs rangs à la fois (4 à 12). Elles comportent un bâti porté sur lequel peuvent coulisser les éléments bineurs et le dispositif de guidage, ce qui permet de s'adapter à différents écartements entre les rangs. Elles sont portées sur le tracteur, à l'avant ou à l'arrière. Pour les machines frontales, le conducteur du tracteur peut gérer lui-même la direction de l'outil : le confort au travail est meilleur. Les bineuses portées à l'arrière, doivent être guidées, soit par une deuxième personne (modèles les plus anciens), soit par un dispositif d'autoguidage : des roues qui suivent un sillon tracé lors du semis ou bien simplement de grands disques qui stabilisent latéralement l'outil (et protègent les plantes du rang).

2.3. Les différents types

2.3.1. Les outils fixes

Sur les outils récents, les socs (de scarifiage ou, plus généralement, d'extirpage) sont montés sur des étançons flexibles et/ou vibrants. Ces machines sont équipées de protège-plants pour éviter les projections dommageables pour les cultures.

2.3.2. Les outils rotatifs

Il existe deux types d'outils rotatifs. Les premiers sont constitués de disques munis de pointes incurvées vers l'avant, montés sur des axes obliques. Les deuxièmes ont des rotors animés par la prise de force équipés de brosses en fil d'acier ou matière synthétique.

3. Herse classique

3.1. Utilisation

Les herSES sont destinées aux opérations de préparation du lit de semences. Elles permettent d'ameublir superficiellement le sol soit, de la nettoyer en ramenant à la surface les mauvaises herbes, de la 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.

3.2. Fonctionnement

Le bâti rigide est le plus souvent remplacé par un bâti articulé formé d'une série de compartiments articulés entre eux, ce qui permet d'épouser au mieux les irrégularités de la surface du sol. On distingue les herSES sans terrage forcé (qui ne pénètrent dans le sol que grâce à leur propre poids) et les herSES avec terrage forcé (qui pénètrent dans le sol grâce à leurs poids ou grâce à un vérin double-effet) permettant de mieux contrôler la profondeur du travail.

3.3. Les différents types

Ce sont des **outils à pointes** dont les pièces travaillantes, ne présentant pas de soc, sont disposées verticalement sur un bâti rigide ou déformable. Il existe un très grand nombre de modèles de herSES : dans le modèle classique, les pointes sont rigides et de section carrée montées sur un cadre, également rigide. Les progrès ont porté sur la forme des pointes et la structure du bâti. On dispose en effet maintenant de herSES à pointes souples adaptées au désherbage des cultures en place (herSES étrilles), à pointes longues (30 à 40 cm), dont l'extrémité est recourbée vers l'avant (diviseurs), de pointes plates et tranchantes (lames) destinées à la régénération des prairies en place (émousseurs, régénérateurs de prairies) ou de pointes flexibles droites, courbes (herSES danoises) ou montées sur le bâti par l'intermédiaire d'un ressort (pointe rapportée), ce qui accroît leur effet de fragmentation. D'une manière générale, les herSES travaillent très superficiellement et à grande vitesse (8 à 15 Km/h), les pointes étant animées d'un mouvement vibratoire régulier, entretenu par le mouvement de l'appareil. Les modèles classiques comportent entre 15 et 30 dents disposées en "Z".

4. Herse rotative

4.1. Utilisation

Les herse rotatives sont des outils de préparation du lit de semences. Les pièces travaillantes sont des dents tournant autour d'un axe vertical, animé par la prise de force du tracteur. Peu encombrantes, les herse rotatives peuvent être associées à d'autres outils ou à un semoir, ce qui permet de réaliser la préparation du sol et le semis en un seul passage.

4.2. Fonctionnement

Les herse rotatives comportent un certain nombre de rotors. Chacun est équipé de deux dents (en toute rigueur il s'agit de pointes ou de lames) plus ou moins longues (30 à 33 cm pour les dents standard, jusqu'à 40 cm pour les dents longues) qui peuvent être de section carrée, ronde ou triangulaire. Elles sont montées légèrement inclinées par rapport à la verticale. Deux rotors voisins tournent en sens inverse.

4.3. Réglages

- **La profondeur de travail** ne peut être contrôlée que par un rouleau placé à l'arrière du travail. Elle est en général de 8 à 10 cm en préparation du lit de semences.
- **L'émiettement**

Est d'autant plus important que la vitesse du rotor est élevée (elle peut varier entre 150 et 500 tr/min), la vitesse d'avancement est faible et de la consistance du sol est friable.

5. Herse alternative

5.1. Utilisation

Les herse alternatives ou "herse à barres oscillantes" sont des outils de reprise superficielle de labour et préparation du lit de semences. L'énergie nécessaire au fonctionnement des pièces travaillantes est entièrement fournie par la prise de force du tracteur. Les herse alternatives conviennent bien dans les sols à comportement intermédiaire. Comme les herse rotatives, peu encombrantes, elles sont souvent associées à d'autres outils. Elles permettent d'effectuer en un seul passage la reprise de labour, une préparation rapide du sol et le semis.

5.2. Fonctionnement

Elles sont constituées de 2 rangées parallèles de dents verticales en mouvement alternatif. Ces dents, au nombre de 10 par m de largeur de travail, sont généralement triangulaires et inclinées vers l'avant et d'une longueur d'environ 25 à 30 cm. La largeur de travail des herse alternatives, est comprise entre 2,5 et 6m. Le rouleau émietteur vient systématiquement compléter cet outil. Il permet de contrôler la profondeur de travail, calibre l'émottage, tasse la terre et nivelle la surface.

5.3. Réglages

- **L'émiettement** augmente avec la fréquence des oscillations. Il est également plus important à vitesse lente, surtout quand la consistance du

sol friable. Toutes les herse alternatives ont une fréquence d'oscillation des barres porte-dents de 540 va et vient par minute. Sur certains modèles, il est possible de modifier la vitesse d'oscillation

- **La profondeur** peut être réglée par le relevage du tracteur mais ce réglage ne peut être précis que par l'association d'un rouleau. La profondeur est en général de l'ordre de 8 à 10 cm.

6. Bêche roulante et outils auto-animés

6.1. Utilisation

Les bêches roulantes sont principalement utilisées pour les opérations de déchaumage. Il s'agit d'un outil qui n'est pas animé par la prise de force du tracteur, mais dont les pièces travaillantes sont mises en rotation par l'avancement de l'engin. On parle **d'outil auto-animé**, dont il existe plusieurs sortes qui permettent de travailler rapidement en assurant un bon mélange de la terre et des débris végétaux.

6.2. Fonctionnement

On peut distinguer les bêches roulantes selon leur bâti (rigide, articulé ou auto-porté). Les pièces travaillantes sont des lames courbées, tranchantes à leur extrémité, de 38 à 44 cm de long, disposées en croix sur un arbre. Environ 40 cm séparent deux croisillons, décalés d'un huitième de tour. L'angle d'attaque est, en général, réglable.

6.3. Réglages

- L'émiettement : il est d'autant plus important que l'angle donné aux arbres portant les bêches est grand et la vitesse d'avancement est élevé.
- La profondeur du travail : on peut augmenter la pénétration des bêches dans le sol en augmentant l'angle des arbres. Dans un sol à consistance dure, il peut être nécessaire d'alourdir l'outil avec des masses.
- L'enfouissement du mélange : il est accru par la vitesse d'avancement, l'angle d'attaque et le nombre de trains de bêches.

7. Autres outils auto-animés

Ce sont des outils utilisés pour le déchaumage, plus rarement pour la préparation du lit de semences. Ils comportent deux axes munis de dents ou de lames: le premier prend appui sur le sol et entraîne le second. Les pièces travaillantes s'entrecroisent. L'axe situé à l'arrière tourne dans le même sens que celui qui est à l'avant, mais les mouvements des pièces travaillantes entre les deux sont inverses. Ce mouvement assure le broyage des pailles, l'émiettement du sol et le mélange des matières organiques.

8. Rouleaux

8.1. Utilisation

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.

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.

8.2. Les objectifs

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 précédente.

8.3. Les différents types

8.3.1. 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.

8.3.2. 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.

8.3.3. Les rouleaux croskill

(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.

8.3.4. Les rouleaux étoile (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.

Matériel de plantation et de semis

1. Semoir en ligne

1.1. 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.

1.2. Fonctionnement

On distingue les semoirs semi-portés, traînés (dont le poids est plus important, la trémie peut être de plus grande capacité), ou intégrés à un outil de travail du sol. L'acheminement des graines entre les organes de distribution et les socs d'enterrage peut se faire soit par gravité, soit par flux d'air dans des tuyaux d'alimentation flexibles. Dans ce deuxième cas, la largeur semée peut être plus importante que celle de la trémie.

1.3. Description des éléments constitutifs

▪ 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.

- **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 utile 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.

- **Tubes de descente**

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

- **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).

1.3.1. Équipements 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.

1.4. Les réglages

- **Le contrôle du débit** : la quantité semée à l'hectare est réglée en fonction de tableaux de débit renseignant, pour chaque espèce de graine la position des vannes d'alimentation et les réglages propres à l'organe doseur. Une fois le semoir préréglé, on opère un contrôle. Un équipement électronique de contrôle est adaptable sur certains types de semoirs. Il se place la sortie de l'un des organes distributeurs : un petit ventilateur projette les graines sur une plaque dont les oscillations, transformées en impulsions électriques sont envoyées dans une console de contrôle. Un microprocesseur dans lequel on a introduit la quantité à l'hectare calcule le débit instantané et peut corriger, si nécessaire, la vitesse de l'arbre de distribution.
- **L'écartement des lignes de semis** : il s'obtient en déplaçant les bras de fixation des socs d'enterrage.
- **La profondeur de semis** : 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.
- **Les traceurs** : il s'effectue en général par rapport aux organes d'enterrage extérieurs, et se calcule grâce à la largeur de travail(L), l'écartement entre les ligne(E), la voie du traceur(V). distance traceurs-organes extérieurs d'enterrage = $(L+E-V)/2$
- **Le dispositif de jalonnement** : l'intervalle des passages non ensemencés dépend de la largeur du semoir, de celle du pulvérisateur et de celle de l'épandeur.

2. Semoir monograine

2.1. 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. La classification des semoirs monograines tient compte du mode de distribution des graines (mécanique ou pneumatique). Les semoirs pneumatiques sont les plus répandus en raison de leur bonne adaptation à toute taille de graines.

2.2. 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.

2.3. Les différents types de semoirs

- **Semoir à distribution mécanique**
- **Semoir à distribution pneumatique**
- **Mécanismes de distribution des graines**

La sélection des graines est purement **mécanique**.

En tournant, des disques (horizontaux, verticaux ou obliques) munis d'alvéoles de la taille des graines à semer, se chargent de graines qu'ils amènent au niveau du soc où elles sont relâchées par gravité.

Les distributeurs à **disques verticaux** sont les plus fréquents :

La sélection des graines est toujours assistée **pneumatiquement**.

- **Distribution par dépression**: les graines sont aspirées de la trémie par dépression et plaquées sur les perforations d'un disque mobile. Lorsque ce disque arrive au niveau du sol, la dépression cesse pour libérer les graines.

- **Distribution par surpression** : de l'air sous pression est utilisé pour plaquer les graines une à une dans les entonnoirs périphériques d'un disque vertical en rotation. L'expulsion au point bas est assistée par un doigt éjecteur.

Utilisations

- Betteraves (semences enrobées) maïs, colza, tournesol, pois....

Avantages

- Coût réduit
- Simple, robuste
- Peu sensible à la calibration des graines bonne régularité de placement

Inconvénients

- Calibrage des semences nécessaire
- Risque d'irrégularités de placement
- Réglage délicat
- Étanchéité du système pneumatique à contrôler

Se sont développés également des semoirs monograines polyvalents, pouvant être utilisés aussi bien pour les semis de précision que pour les semis de céréales

effectués traditionnellement avec des semoirs en lignes, puisqu'un moindre nombre de graines semées contribue au maintien des rendements et à une réduction des charges pour l'agriculteur.

2.3.1. Les accessoires

- **dispositif de traçage** : des disques montés sur des bras dans le prolongement du semoir marquent le sol pendant le semis pour indiquer la trace à suivre par le tracteur lors du passage suivant.

- **Fertilisateurs/micro granulateurs** : une fertilisation ou une distribution d'engrais peut être opérée simultanément au semis en adaptant un dispositif supplémentaire à l'avant ou à l'arrière du tracteur.

- **contrôleur de semis électronique** : des consoles modernes sont capables d'indiquer le nombre de graines semées par rangs, la population à l'hectare, la vitesse de semis, le rendement horaire...

2.4. Réglages

- **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** : $D = (E(N+1) - V) / 2$, avec D =distance entre le disque traceur et l'axe du dernier élément semeur; N =nombre d'éléments semeurs, V =voie avant du tracteur (distance entre l'axe des roues avant), et E =écartement entre éléments semeurs.

3. Planteuse

3.1. Utilisation

Les planteuses de pommes de terre sont des outils permettant la mise en terre de plants de différents calibres, à distance et profondeur régulière, sans abîmer les germes. Ils sont constitués d'un ou plusieurs éléments de plantation sur un bâti semi-porté (jusqu'à 3 rangs) ou traîné (4 à 6 rangs).

3.2. Les différents types de planteuses

- **L'alimentation manuelle** est utilisée pour les plantations en primeur, avec des germes développés. Chaque plant est déposé dans un logement du distributeur.
- **L'alimentation automatique** peut faire l'objet de différents systèmes :
 - des systèmes à chaîne ou à godets,
 - des systèmes à convoyeur aligneur,
 - des systèmes à disque et doigts extracteurs.

3.2.1. Description des éléments constitutifs

- **Le bâti** : Profilé, du type "porte-outils", il permet le déplacement des éléments planteurs afin de régler l'espacement entre les rangs (entre 55 et 90 cm).
- **La trémie** : C'est le bac, de capacité variable en fonction du nombre d'éléments qu'il peut desservir.
- **Le système de distribution** : Il existe des distributeurs à alimentation manuelle ou automatique. Le distributeur manuel peut être rotatif vertical (les tubercules sont déposés un à un dans des encoches ou godets, maintenus en place pendant la rotation et libérés au niveau du sol) ou horizontal (les tubercules sont déposés sur un plateau compartimenté tournant dans un tambour percé d'une lucarne qui ouvre sur le tube de descente.) Le distributeur automatique peut être constitué d'une courroie ou chaîne à godets (le tubercule est prélevé dans la partie inférieure de la trémie), d'un système avec convoyeur aligneur (les tubercules sont alignés sur un tapis à vitesse de rotation réglable. Ce système est utilisé en particulier avec les plants pré-germés), ou d'un système à disques et doigts extracteurs.
- **Les organes de mise en terre et de recouvrement** : Un soc butteur ouvre le sillon dans lesquels seront déposés les plants. la régularité de la profondeur est assurée par un montage sur système parallélogramme et une roue support. Le recouvrement est effectué par deux disques.

3.3. Les réglages

- **Réglage de l'écartement des plants dans la ligne**: le distributeur est équipé d'une série d'engrenage qui permet de modifier sa vitesse de rotation, et donc le rythme des dépôts pour une même vitesse d'avancement.
- **Réglage de l'écartement entre les lignes** : sur les machines à plusieurs rangs, les éléments peuvent être déplacés latéralement sur le châssis, pour faire varier la distance entre les lignes.
- **Réglage de l'enterrage et du recouvrement** : Les socs d'ouverture des sillons sont fixés au châssis par des étriers qui permettent de modifier rapidement leur profondeur. On peut régler la hauteur, l'écartement, l'inclinaison, la pression des disques de recouvrement

4. Repiqueuse

4.1. Les planteuses-repiqueuses de plants

Les repiqueuses de plants sont des machines d'assistance à la plantation servies manuellement et capables de placer correctement les plants dans le sol en respectant le plus possible les parties fragiles de la jeune plante (racines, tiges, feuilles). Il s'agit en général de machines attelées au système trois points du tracteur, portées en transports et reposant sur leurs propres roues au travail. Elles comportent un bâti supportant 1 à 6 éléments planteurs, correspondant à autant

de postes assis, permettant à quelqu'un d'alimenter manuellement le mécanisme de distribution correspondant. Selon les végétaux à planter et les machines, la vitesse peut aller de 1000 à 2500 plants par homme et par heure. Ces matériels sont polyvalents et permettent de mettre en terre différents végétaux, à racines nues ou en mottes. Des dispositifs complémentaires peuvent y être associés (arrosage localisé, apport d'engrais, dérouleur de lignes d'irrigation, etc.)

On distingue différents systèmes de distribution :

- **Les distributeurs circulaires à disques convergents** : Chaque module de distribution et de mise en terre comprend un rouleau plombeur avant, un corps sillonneur, un distributeur à disques rotatifs convergents, deux roues convergentes de rappuyage et des griffes pour la mise en forme de la surface du sol. Le serveur dispose les plants dans l'entrure des disques, racines vers l'extérieur. Les disques en matériau souple pincent légèrement le plant et l'entraînent dans le fond du sillon. Le plant est alors relâché par la divergence des disques et positionné par les roues de rappuyage. Afin d'améliorer la régularité de la plantation et l'ergonomie du poste de travail, il existe des planteuses à disques alimentées par un **convoyeur intermédiaire à godets**: le serveur pose alors ses plants dans les godets qui défilent en face de lui, sans avoir besoin de se courber.
- **Les distributeurs à roues et à pinces**

Chaque distributeur présente une roue munie de pinces périphériques en nombre variable. La rotation de la roue distributrice est assurée par une roue porteuse, à vitesse proportionnelle à l'avancement. Des cames maintiennent les pinces ouvertes ou fermées selon leur position par rapport au sillon (s'ouvrent pour recevoir le plant, se resserrent légèrement pour le maintenir et enfin le libèrent au moment où les roues de rappuyage le maintiennent en terre.

- **Les distributeurs à courroies** : Ces machines sont utilisées pour le repiquage de plants maraîchers ou forestiers, à racines nues. Un serveur place manuellement les plants dans les encoches de la courroie d'alimentation. Cette courroie conduit les plants entre les courroies du convoyeur de plantation. Deux courroies parallèles saisissent les plants et les conduisent en position verticale dans le sillon, refermé par deux roues plombeuses convergentes.

4.2. Les planteuses automatiques de mini-mottes

Ce sont des machines tractées ou automotrices, conçues pour la plantation mécanique de mini-mottes contenues dans des plateaux conteneurs.

Les éléments de plantation peuvent être écartés par coulissement sur le châssis de base ; leur entraînement est assuré par une boîte de vitesse entraînée par les roues avant de la machine.

- **La tête d'alimentation automatique** est conçue pour être alimentée par des plateaux d'un format inférieur ou égal à 400x600x60 mm. Le serveur introduit 2 plateaux sur le rail de guidage. Un système positionneur assure

les mouvements horizontaux et verticaux des plateaux. Les mottes sont éjectées 3 par 3 par des poussoirs et transférées par des pinces vers les godets de l'unité de plantation.

- **L'unité de plantation** comporte une chaîne sans fin portant des godets ouvrant qui reçoivent les mottes. Un disque de retournement reçoit les mottes déposées par les godets puis, elles sont saisies par un disque de plantation et enfin lâchées en synchronisme avec deux roues tasseuses qui assurent le rappuyage.

Matériels de traitement et de fertilisation

L'application de produits phytosanitaires et d'engrais liquide s'effectue à l'aide de pulvérisateurs; alors que les formes solides sont appliquées à l'aide de distributeurs d'engrais. Enfin les épandeurs à lisier et à fumier ont été conçus pour l'épandage des divers engrais de ferme.

5. Pulvérisateur

5.1. Fonction

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 pulvérisateurs peuvent être traînés, semi portés ou portés (à l'avant ou à l'arrière de tracteur) et certains sont automoteurs.

5.2. Constitution et principes de fonctionnement

Tout pulvérisateur se compose des éléments de base suivants :

5.2.1. 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.

5.2.2. 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).

5.2.3. Système de transfert de 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.

5.2.4. Système de division du liquide en gouttelettes

Des buses, orifices calibrés répartis le long de la rampe, contrôlent la forme du jet, sa répartition sur la cible, la dimension et le nombre de gouttes.

La division des gouttes peut être générée par:

- La **pression de liquide** : le liquide arrive sous pression dans les buses et se détend à pression atmosphérique, ce qui provoque sa division en gouttes. Processus essentiellement utilisé pour traiter les cultures basses.
- La **pression d'air** : Un courant d'air au niveau des buses divise en gouttes le liquide arrivant à basse pression.
- La **force centrifuge** : Le liquide arrive tangentiellement sur un disque tournant à grande vitesse et est fractionné en gouttes par effet centrifuge

5.2.5. Système de transfert de gouttes

Les gouttes doivent acquérir suffisamment d'énergie cinétique pour atteindre leur cible.

- Transport par **jet projeté** : les gouttes sont transportées grâce à l'énergie cinétique emmagasinée lors de la division du liquide en gouttes.
- Transport par **jet porté** : un flux d'air porte les gouttes jusqu'à leur cible.

5.2.6. Système de régulation

Des automatismes de type **DPA** (dispositifs de régulation à débit proportionnel à l'avancement) ou des **DPM** (débit proportionnel au régime moteur du tracteur) sont fréquemment installés pour réguler et maintenir constant le débit de pulvérisation fixé.

5.3. Les différents types de pulvérisateurs

5.3.1. Pulvérisateurs à pression de liquide et 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.

5.3.2. Pulvérisateurs centrifuges

Utilisés en grandes cultures pour travailler à bas volume (50 à 100L/Ha), ils mettent en œuvre la force centrifuge et le transport par jet projeté.

5.3.3. Pulvérisateurs pneumatiques

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

6. Epandeur à fumier

6.1. Utilisation

Les épandeurs à fumier, remorques semi-portées dotées d'un dispositif d'épandage, sont comme leur nom l'indique destinés à épandre du fumier sur une parcelle. Ces apports de fumier sont raisonnés en fonction des besoins de la

culture et de la composition du fumier (teneurs et MO et en N); (cf. fiche culturale fertilisation et amendements).

6.2. Eléments constitutifs et fonctionnement

Les épandeurs se composent d'une citerne de stockage, d'un système d'alimentation et d'un système d'épandage.

6.2.1. Citerne

Les citernes sont **semi-portées**, fixées sur un châssis de un ou deux essieux, et peuvent contenir entre 3 et 15 T de fumier.

6.2.2. Système d'alimentation

Des barrettes métalliques fixées sur des chaînes sans fin composent un **fond mouvant** permettant l'avancement du fumier vers les organes de distribution.

6.2.3. Système d'épandage

6.2.3.1. Epandeurs à projection arrière :

Des moulinets horizontaux ou verticaux munis d'éléments disperseurs (dents, griffes, disques crénelés, vis hélicoïdal...) sont animés d'un mouvement de rotation par la prise de force du tracteur et ont pour rôle de déchiqueter puis épandre le fumier. Le système être complété d'un système éparpilleur ou d'une table de projection afin d'accroître la régularité d'épandage et la largeur de projection. Les épandeurs à moulinets verticaux assurent un épandage sur une plus grande largeur (jusqu'à 8 m).

6.2.3.2. Epandeurs à projection latérale :

Ils ont été conçus pour l'épandage de **fumier semi-liquide** (lisier épais, fientes de volailles). Il existe des systèmes avec chaînes à fléaux et des systèmes à rotor.

▪ Système avec chaînes à fléaux :

Un rotor entraîné par des chaînes se déplace progressivement du **haut vers le bas** de la caisse tout en projetant la matière. Il existe des systèmes de progression horizontale dans lesquels c'est un fond mobile qui amène la matière à l'avant au fur et à mesure de la projection.

▪ Systèmes à rotor :

Un fond mouvant amène le fumier **vers l'avant** de la remorque au niveau d'un rotor à dents qui projette la matière latéralement à travers une tuyère de sortie orientable

7. Epandeur à lisier

7.1. Fonction

Les épandeurs à lisier, aussi appelés "**tonnes à lisier**" assurent le **brassage** du lisier dans la fosse, le **soutirage** et l'**épandage**. Certains appareils sont même dotés d'un système d'enfouissement adaptable à l'arrière de l'épandeur.

7.2. Eléments constitutifs

7.2.1. Citerne

De forme généralement **cylindrique**, elle peut stocker entre 3 000 et 20 000 L de lisier et est résistante à la corrosion et aux variations de pression intervenant

lors du chargement et de l'épandage. La paroi arrière ouvrable ou amovible permet de nettoyer l'intérieur.

7.2.2. Pompe

Il s'agit d'une pompe à lobes ou à palettes qui peut fonctionner alternativement comme **compresseur** (lors de l'épandage, le fumier est mis sous pression) ou comme **pompe à vide** (pour créer le vide d'air avant le remplissage de la citerne) grâce à un système de vannes d'inversion. La pompe agit uniquement sur de l'air et n'entre jamais en contact avec le lisier.

7.2.3. Système d'épandage et système d'incorporation diffuseurs en nappe :

A sa sortie de la cuve, le lisier est **projeté en nappe** sur le sol grâce à un déflecteur (orienté vers le haut ou le bas), un disque crénelé vertical, un disque à palettes horizontal, ou encore un répartiteur pivotant.

7.2.4. Rampes avec tuyaux traînants :

Ce dispositif permet un épandage **très près du sol** et limite donc les risques de pertes par volatilisation. Ces rampes pliables, pouvant traiter des largeurs de 12 à 21 m, sont munies de nombreux tuyaux flexibles parallèles et espacés de 25 cm, dans lequel le lisier circule jusqu'au sol.

7.2.5. Système d'enfouissement

Les **enfouisseurs pour terres de culture** ressemblent aux cultivateurs à **dents** de type "chisel". L'avantage de ce dispositif est la possibilité de déchaumer les cultures tout en apportant du lisier sans cependant émaner d'odeurs désagréables. Les **enfouisseurs pour prairies** sont munis de **disques** ou **couteaux** ouvreurs de sillons et disposent le fumier à une profondeur de 10 à 15 cm dans le sol.

8. Distributeur d'engrais

8.1. 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.

8.2. Eléments 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 stockées 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

8.3. Les différents types de distributeurs d'engrais et leur mode de fonctionnement

8.3.1. Distributeurs d'engrais centrifuges

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. 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.

8.3.2. Distributeurs d'engrais pneumatiques

Ils peuvent être portés, semi-portés (capacité de la trémie : 600 à 800L) ou traînés (capacité pouvant s'élever à 6000L). Ces appareils sont plus chers et plus délicat d'entretien, mais offrent une grande précision de dosage même sur de grandes largeurs et quelles que soient les qualités de l'engrais. Les granulés d'engrais sont entraînés par un **courant d'air** jusqu'à des **diffuseurs** au niveau desquels ils sont répartis sur le sol. Le système de distribution est constitué de rouleaux à ergots qui introduisent précisément la dose d'engrais dans chaque tube de transport. A travers ces tubes, distants de 0.25 à 1.50 m et disposés parallèlement sur la rampe, le produit est transporté par un flux d'air produit par une turbine et est acheminé jusqu'aux orifices de sortie appelés diffuseurs.

L'agriculteur peut régler :

- Le **dosage de l'engrais** (action sur la vitesse de rotation des cylindres doseurs),
- Le **débit du ventilateur** (action sur un volet d'obturation),
- L'**orientation des déflecteurs** constitutifs des diffuseurs (vers le haut ou le bas)

8.3.3. Distributeurs localisateurs d'engrais

En adaptant des manchettes de localisation sur les diffuseurs, les distributeurs classiques pneumatiques peuvent être utilisés pour une **fertilisation localisée**. Ils apportent les engrais en surface, en bandes continues à quelques cm des plantes.

8.3.4. Les distributeurs localisateurs

Peuvent également être utilisés combinés avec un semoir en ligne classique ou un semoir de précision. Dans ce cas, une ou deux trémies sont reliées au semoir et alimentent chaque ligne de semis par les tubes de descente.

Matériel de récolte

Introduction

La récolte des grains (céréales, oléo protéagineux) 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).

1. Moissonneuse batteuse

1.1. Fonction

La **moissonneuse-batteuse** sert à **récolter les céréales** et les **oléo protéagineux**. 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/Ha).

1.2. Eléments constitutifs

1.2.1. Les éléments de base

Une moissonneuse-batteuse (cf. schéma de fonctionnement légendé) comprend:

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

1.2.2. Les équipements complémentaires

- **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 un bien moindre volume de matière à traiter. Ces récolteuses de maïs grains sont appelées "corn-sheller". Des "corn-pickers" peuvent également être utilisés pour la récolte d'épis non égrainés (mais cette méthode tend à disparaître).

1.2.3. Les équipements 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).

1.2.4. Innovations technologiques

Pour assurer les grands débits des machines modernes, différents dispositifs ont été mis au point:

- Les **séparateurs rotatifs** (tambours placés à la suite du tire-paille) équivalent presque à un enchaînement de plusieurs systèmes de batteurs/contre-batteurs;
- Les **secoueurs rotatifs** : ces rotors disposés au-dessus des grilles améliorent la séparation ;
- Le **battage flux à axial ("axial flow")** : le batteur est disposé dans le sens longitudinal; les organes récoltés sont ainsi obligés de parcourir toute la longueur du batteur en suivant un pas hélicoïdal, ce qui accroît l'efficacité du battage. Ce système, broyant énormément la paille, n'est utilisée que dans les exploitations où la paille n'est pas pressée.

1.3. Réglages

En fonction du type de récolte, on peut agir sur différents paramètres :

- Hauteur de coupe;
- Ecartement batteur/contre-batteur et vitesse de rotation du batteur;
- Grilles interchangeables ou bien à ouverture réglable que l'on adapte à la taille des graines;
- Puissance de ventilation.



Moissonneuse-batteuse