

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Cours de 3^{ème} année License Agronomie

Machinisme agricole

Réalisé par :

Dr. Hassina Hafida BOUKHALFA

Année Universitaire : 2019/2020

Chapitre I: LE MOTEUR DIESEL A QUATRE TEMPS

Introduction :

Le moteur est un organe qui transforme en travail mécanique une source d'énergie qui lui est fournie. Il est dit moteur thermique si la source d'énergie est un combustible, ou moteur électrique si cette source est l'électricité.

Dans un moteur thermique, la combustion peut se faire :

- A l'extérieur du moteur, et il est dit alors moteur à combustion externe. C'est le cas de la machine à vapeur.
- A l'intérieur du moteur, et il est dit alors moteur à combustion interne. C'est le cas de tous les moteurs thermiques employés actuellement en automobile.

Le rôle du moteur est de fournir au véhicule l'énergie permettant d'assurer sa propulsion en utilisant lui même l'énergie contenue dans un combustible. Donc, le moteur est un transformateur d'énergie.

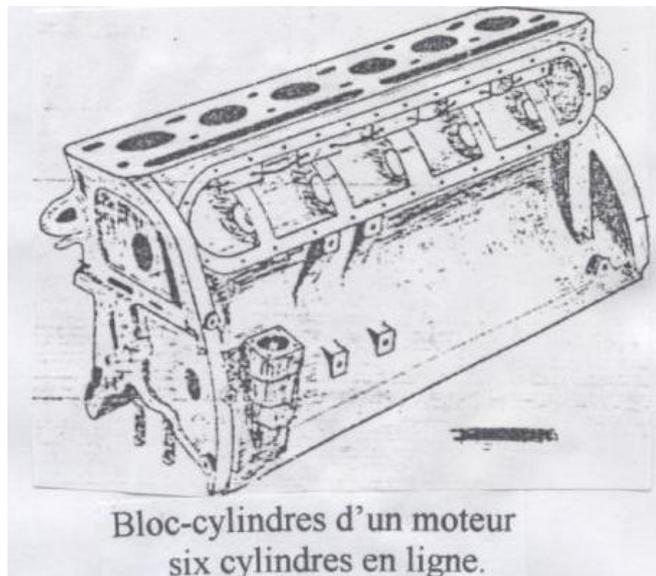
I. Constitution d'un moteur thermique à combustion interne:

Un moteur est constitué d'organes fixes, d'organes mobiles et d'organes de distribution.

I. 1. Les organes fixes :

I. 1. 1. Le cylindre :

Il est constitué d'un corps cylindrique dans lequel se déplace le piston. Il sert d'enceinte aux gaz et il est surmonté d'une chambre de combustion. Le volume engendré par la course du piston est appelé cylindrée. Le cylindre d'un moteur et le vilebrequin sont contenus dans un bloc venu de fonderie appelé bloc-cylindres. Sur les moteurs refroidis par eau, le bloc-cylindres comporte des cavités à l'intérieur desquelles circule l'eau de refroidissement.



Bloc-cylindres d'un moteur six cylindres en ligne.

I. 1. 2. Le carter :

C'est une enveloppe rigide fermée, protégeant les pièces mobiles d'un moteur. Le carter inférieur contient l'huile de lubrification. L'une de ses qualités primordiales est donc d'être étanche.

I. 1. 3. La culasse :

C'est l'élément qui ferme la partie supérieure des cylindres en délimitant la chambre de combustion. Dans les moteurs à refroidissement par eau, la culasse contient des cavités de circulation d'eau ; elle est munie d'ailettes si le refroidissement est par air. Suivant le nombre de cylindres et la cylindrée, la culasse peut être réalisée en une ou plusieurs parties. Son étanchéité est assurée à l'aide du joint de culasse, qui est un joint métalloplastique.

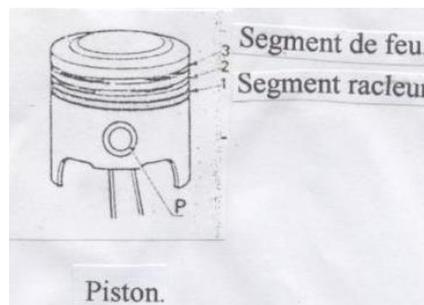
I. 1. 4. Les tubulures :

Ils sont appelés également collecteurs, ce sont des conduites qui servent d'une part à amener les gaz frais jusqu'aux soupapes d'admission, d'autre part à évacuer les gaz brûlés. Leur forme dépend du nombre des cylindres du moteur et leur disposition, ainsi que de la position des soupapes d'admission et d'échappement.

I. 2. Les organes mobiles :

I. 2. 1. Le piston :

Au sens le plus général, c'est un organe recevant et transmettant la pression des gaz de combustion, ou bien comprimant l'air sur sa face supérieure, en effet le fond mobile du cylindre, qui à l'opposé est obstrué par la culasse.

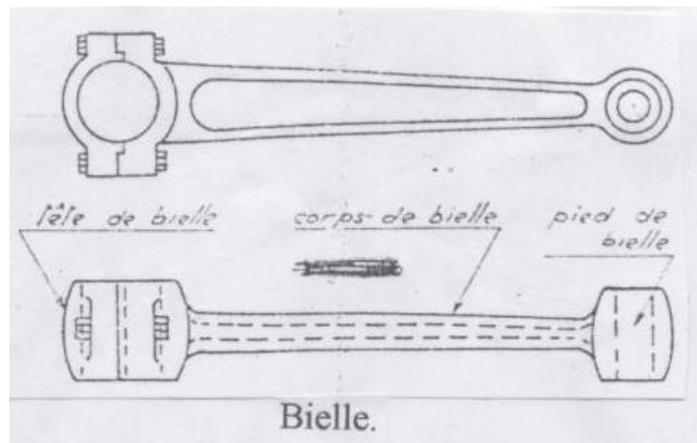


Le piston est animé d'un mouvement rectiligne alternatif. Il comporte le corps du piston qui reçoit l'action du fluide, les segments qui assurent l'étanchéité, et l'axe du piston qui transmet le mouvement à la bielle puis au vilebrequin. Les segments sont des anneaux en fonte élastique, placés dans des gorges taillées dans la tête du piston. Le segment supérieur est appelé segment de feu car il reçoit la température de combustion. Le segment inférieur est appelé segment racleur, il empêche l'huile de remonter dans la chambre de combustion.

I. 2. 2. La bielle :

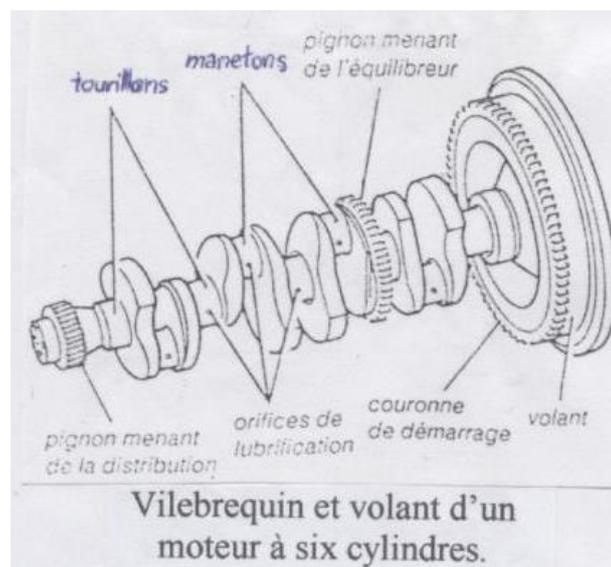
C'est une barre profilée rectiligne dont le pied se déplace sur une droite et la tête sur une circonférence. L'axe du piston transmet au pied de bielle le mouvement alternatif du piston. La

tête de bielle s'articule sur le maneton correspondant de l'arbre vilebrequin qui décrit un cercle.



I. 2. 3. Le vilebrequin :

L'arbre vilebrequin ou arbre manivelle, transforme le mouvement rectiligne alternatif de l'ensemble piston-bielle en un mouvement circulaire continu communiqué ensuite aux organes à entraîner par l'intermédiaire des transmissions. Il commande également : la distribution, la lubrification, la ventilation...etc. il repose sur des paliers solidaires du bloc-cylindres par l'intermédiaire de tourillons.



Les éléments sur lesquels s'articulent les têtes de bielles s'appellent les manetons. L'intermédiaire entre la bielle et l'arbre vilebrequin et entre l'arbre vilebrequin et les paliers sont les coussinets, ce sont des demi-coquilles d'acier qui doivent être efficacement lubrifiés.

I. 2. 4. Le volant :

Organe circulaire, monté au bout du vilebrequin, dont l'inertie est utilisée pour régulariser le fonctionnement des moteurs.

I. 3. Les organes de distribution :

C'est l'ensemble des mécanismes qui commandent l'ouverture et la fermeture des soupapes. La

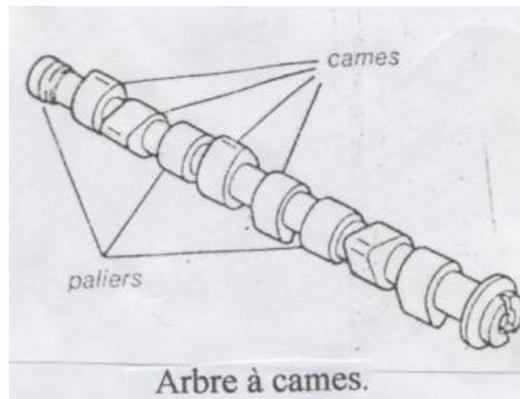
distribution peut être commandée par pignons, chaîne ou courroie crantée.

I. 3. 1. Les soupapes :

C'est des dispositifs contrôlant l'admission et l'échappement des cylindres des moteurs. Leur ouverture est commandée par le mécanisme de distribution par l'arbre à cames. La fermeture s'effectue par le rappel d'un ressort. Lorsqu'elles sont placées à côté du cylindre et directement commandées par un arbre à cames latéral, les soupapes sont dites latérales ; placées au-dessus de la culasse et la tête en bas, elles sont dites en tête.

I. 3. 2. Arbre à cames :

Chaque soupape doit s'ouvrir une fois tous les deux tours du vilebrequin. Comme il actionne deux soupapes par cylindre, l'arbre à cames comprend autant de paires de cames qu'il y a de cylindres sur le moteur. Il doit donc faire un tour pour deux tours du vilebrequin.



I. 3. 3. Culbuteurs:

C'est des petits leviers assurant la commande du mouvement des soupapes en tête. Ils peuvent être actionnés directement par les cames, ou lorsque l'arbre à cames est latéral par une tige dont l'extrémité inférieure est engagée dans un poussoir reposant sur l'une des cames. En tournant, la came soulève le poussoir qui transmet le mouvement au culbuteur et à la soupape.

II. Cycles des moteurs :

Le cycle est l'ensemble des évolutions que subit la même masse de gaz depuis son entrée dans le cylindre jusqu'à sa sortie dans l'atmosphère, avec variation de volume, de pression et de température.

Dans les moteurs thermiques à quatre temps, un cycle correspond à une succession de quatre opérations : admission, compression, combustion-détente, et l'échappement.

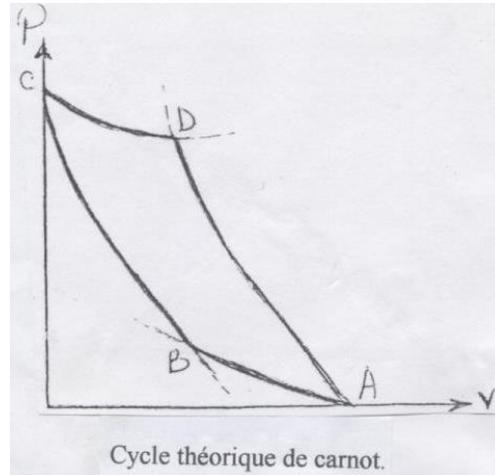
II. 1. Cycles théoriques :

II. 1. 1. Cycle de Carnot :

L'injection progressive devait permettre la réalisation du cycle de Carnot en assurant la compression isobare pendant le début de la course motrice du piston. Pour réaliser la détente

isotherme, l'injection doit se faire progressivement. La température se maintient constante alors que l'augmentation du volume entraîne une chute de pression.

A la fin de la combustion, commence la détente adiabatique avec diminution de la température et chute de la pression.



Le cycle théorique de Carnot possède un excellent rendement qui ne fut jamais atteint. Ce cycle comprend les phases suivantes :

- AB = compression isobare.
- BC = compression adiabatique.
- CD = détente isotherme.
- DA = détente adiabatique.

Définition des thermes :

Isotherme : on appelle compression ou détente isotherme, une compression ou une détente qui se fait à température constante.

Adiabatique : on appelle compression ou détente adiabatique, une compression ou une détente qui se fait sans perte ni apport de chaleur.

Isobare : pression constante.

II. 1. 2. Cycle Diesel :

Dans cette phase, nous allons imaginer un moteur théorique où l'on fera abstraction de divers éléments, tels que :

- Les échanges de chaleur qui sont inévitables.
- La vitesse de combustion qui n'est pas instantanée.
- Le remplissage incomplet du cylindre.

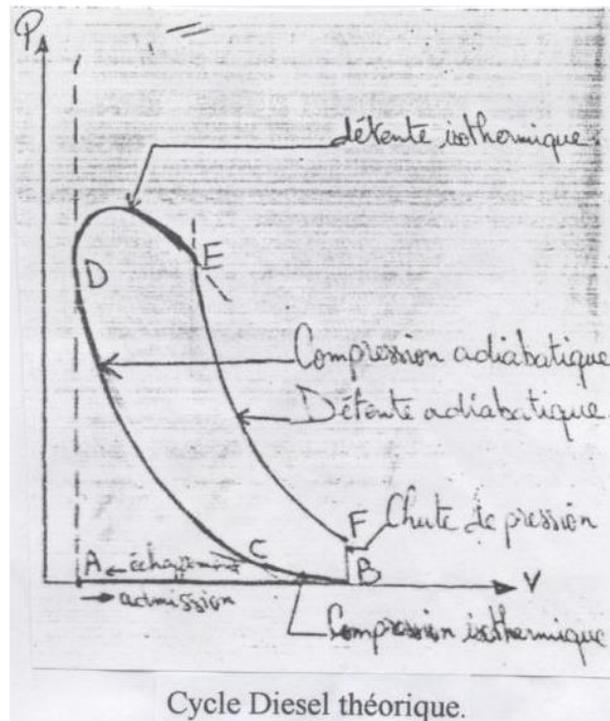
Les quatre temps du cycle correspondent à une rotation du vilebrequin égale à 720° , soit deux tours. Les phases du cycle sont les suivantes :

- **Premier temps ; Admission** : La soupape d'admission étant ouverte, la course descendante du piston créant une aspiration, de l'air pénètre dans le cylindre.
- **Deuxième temps ; Compression** : La soupape d'admission se ferme. Dans sa course ascendante, le piston comprime l'air. Cette compression engendre une augmentation de la température.
- **Troisième temps ; Injection, combustion, détente** : Lorsque le piston arrive au voisinage du pont mort haut (PMH) en fin de compression, on injecte le combustible pulvérisé dans la chambre de combustion. La pression d'injection doit être supérieure à la pression régnant à l'intérieur du cylindre pour permettre l'introduction du combustible. Au contact de l'air comprimé à température élevée, le combustible s'enflamme de lui même. La température d'inflammation du gas-oil étant bien inférieure à celle de l'air contenu dans le cylindre, il s'enflamme spontanément à mesure qu'il est injecté. Les gaz augmentent très rapidement de volume, leur détente chasse le piston vers le bas (PMB). Le vilebrequin reçoit de l'énergie durant toute cette course : c'est le temps moteur.
- **Quatrième temps ; Echappement** : La soupape d'échappement s'ouvre, les gaz brûlés sont chassés par le piston qui remonte. Lorsque le piston arrive au PMH, la soupape d'échappement se referme et celle d'admission s'ouvre pour qu'un nouveau cycle commence.

Ce cycle se rapproche du cycle de Carnot. Son diagramme se décompose comme suit :

- 1^{er} temps : **aspiration** d'air AB.
- 2^{ème} temps : **compression** isotherme BC avec injection d'eau pour éviter l'augmentation de température. Puis, compression adiabatique CD avec augmentation de la température.
- 3^{ème} temps : **injection** prolongée du combustible pour obtenir une **combustion** isotherme. La descente du piston s'accompagne d'une baisse de température et de pression donc, **détente** isotherme DE, puis détente adiabatique EF après cessation de l'injection.
- 4^{ème} temps : chute de pression FB, puis **échappement** BA.

Ce cycle théorique ne peut être réalisé en raison de la trop forte compression demandée.

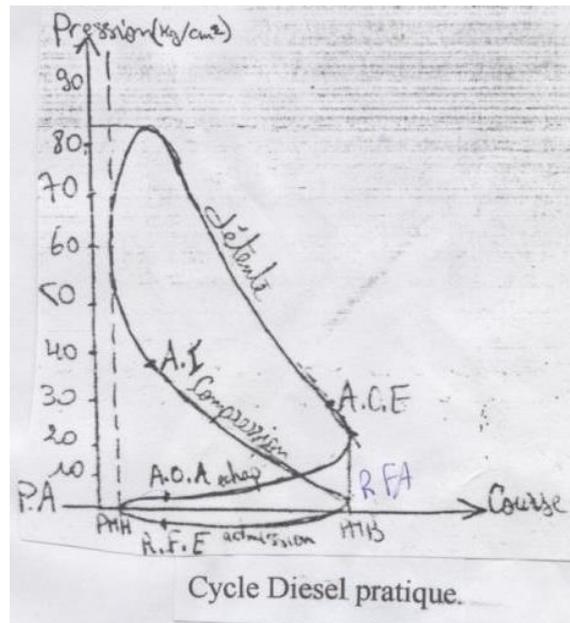


II. 2. Cycle Diesel pratique ou réel :

Il est évident qu'un moteur ne peut fonctionner suivant le cycle théorique. Ce cycle fait abstraction d'éléments très importants qui sont déterminants dans le fonctionnement correct d'un moteur.

En pratique, certaines modifications doivent être apportées pour obtenir un fonctionnement correct des moteurs. Ces modifications touchent les soupapes (ouverture ou fermeture avec un certain retard ou avance) et l'injection.

Pour obtenir un fonctionnement correct du moteur Diesel, les modifications suivantes ont été apportées au cycle théorique :



➤ **Avance à l'ouverture d'admission (A.O.A) :** pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés, on donne de l'avance à l'ouverture de la soupape d'admission, de façon à ce que l'air aspiré chasse les gaz brûlés.

➤ **Retard à la fermeture d'admission (R.F.A) :** on donne du retard à la fermeture de la soupape d'admission pour obtenir un meilleur remplissage. En effet, l'air ayant acquis une certaine vitesse durant la course descendante du piston, continue de pénétrer dans le cylindre pendant le temps mort du piston au PMB.

➤ **Avance à l'ouverture d'échappement (A.O.E) :** à la fin du cycle de détente, il est bon d'avoir de l'avance à l'ouverture de la soupape d'échappement pour permettre une meilleure évacuation des gaz brûlés.

➤ **Retard à la fermeture d'échappement (R.F.E) :** ce retard correspond à l'avance d'ouverture de la soupape d'admission. En effet, les gaz frais pénétrant dans le cylindre chassent les gaz brûlés.

➤ **Avance à l'injection (A.I) :** comme un certain temps s'écoule entre le début de l'injection et le début de la combustion, il faut de l'avance à l'injection pour faire coïncider le début de la combustion avec la position du piston au PMH. C'est pour cette raison que durant la compression on injecte le combustible avant que le piston soit exactement au PMH.

III. Caractéristiques de charge :

III. 1. Quelques définitions :

➤ **Alésage D :** c'est le diamètre intérieur du cylindre. Il est à noter que le diamètre du piston est très légèrement inférieur.

➤ **Course C** : c'est la distance parcourue par le piston entre les deux positions extrêmes de son mouvement alternatif (entre PMH et PMB).

➤ **Cylindrée V** : c'est le volume engendré par le déplacement du piston entre les deux positions extrêmes de sa course. C'est donc le volume d'un cylindre de diamètre D (alésage) et de hauteur C (course). Son volume sera donc : $V = \pi D^2 C / 4$.

Si le moteur a **n** cylindres, la cylindrée totale sera : $V_t = n \cdot V$

Pour obtenir une cylindrée en litres, il faut convertir les millimètres en décimètres.

➤ **Chambre de combustion v** : c'est le volume restant libre dans le cylindre quand le piston est au PMH. Son importance conditionne la valeur de la compression.

➤ **Taux de compression ρ** : c'est le rapport entre le volume existant dans le cylindre quand le piston est au PMB, soit $(V+v)$ et le volume de la chambre de combustion v . $\rho = (V+v)/v$. Il est fixe pour un moteur donné.

➤ **Taux de remplissage** : lors de l'admission, les gaz rencontrent des résistances à leur passages successifs dans certains des organes accessoires du moteur. Ces résistances créent un retard pour l'admission des gaz dans le cylindre. A la fin de l'admission ; ces gaz n'ont pas encore atteint une pression égale à la pression atmosphérique. On appelle taux de remplissage le rapport entre le volume de gaz ramené à la pression atmosphérique et le volume $V+v$ le contenant. Il est donc inférieur à 1, et variable avec la dépression et la vitesse de rotation du moteur.

III. 2. Courbes caractéristiques d'un moteur :

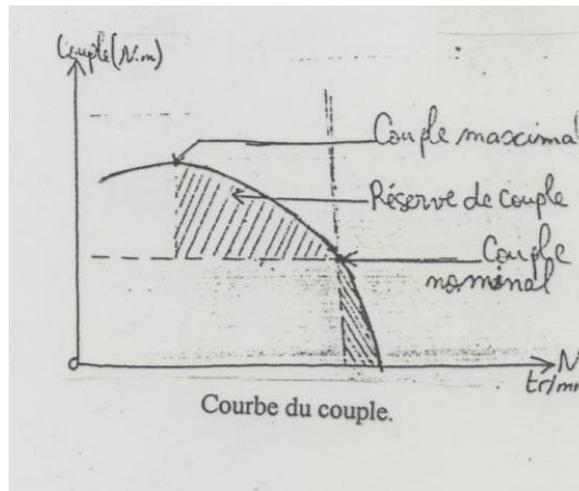
III. 2. 1. Le couple :

Dans un moteur, la pression des gaz de combustion engendre sur chaque piston une pression qui est transmise à l'arbre vilebrequin par la bielle. La poussée du piston crée une force (F) et le rayon du vilebrequin constitue un bras de levier (l). L'influence de cette force par rapport à ce bras de levier est définie par le produit $(F \cdot l)$, appelé moment d'une force.

Un moteur ne peut fournir un couple (action) que si on lui oppose un couple résistant (réaction). Aussi, le couple d'un moteur est lié au couple résistant qui est lui même la conséquence de l'effort de travail demandé.

Le couple maximal d'un moteur dépend de la cylindrée, du taux de remplissage des cylindres, de la qualité de la combustion et de la quantité de combustible injecté.

Pour mesurer le couple d'un moteur, on utilise un banc d'essai appelé frein dynamométrique, dans lequel l'énergie du moteur à essayer est dissipée en chaleur par un système de freinage hydraulique ou électromagnétique.



La courbe représente les variations du couple d'un moteur diesel en fonction de sa vitesse de rotation. Cette courbe est réalisée à partir de plusieurs points mesurés avec un frein dynamométrique, l'essai consiste à accroître progressivement le freinage et à noter les valeurs de couples mesurées et les vitesses de rotation correspondantes.

On observant la courbe de couple de droite à gauche, on remarque une montée rapide qui correspond à la zone d'action du régulateur, puis une élévation plus lente jusqu'au couple maximal et enfin une retombée qui indique une surcharge du moteur et une perte de régime pouvant aller jusqu'au calage.

La zone d'action du régulateur indique la plage pendant laquelle le régulateur corrige automatiquement le débit de la pompe d'injection. Le couple maximal et la vitesse correspondante sont des caractéristiques importantes qui figurent sur la plupart des fiches techniques. Le couple nominal d'un moteur étant le couple qu'il fournit lorsqu'il fonctionne à sa puissance maximale.

La réserve de couple représentant l'une des performances des moteurs diesel industriels et de tracteurs agricoles, indique en pourcentage la réserve de couple qu'un moteur dispose lorsqu'il fonctionne à sa puissance nominale :

$$\% \text{ Réserve de couple} = [(\text{couple maximal} - \text{couple nominal}) / \text{couple nominal}] * 100$$

La réserve de couple permet au moteur de supporter une augmentation ponctuelle de charge, sans changement de vitesse. Une faible réserve de couple nécessite un nombre de rapports de vitesse plus élevé.

La plage d'utilisation d'un moteur correspond à la variation de régime qu'il subit lorsqu'il est amené à mettre en œuvre toute sa réserve de couple :

$$\text{Plage d'utilisation} = \text{régime nominal} - \text{régime maximal.}$$

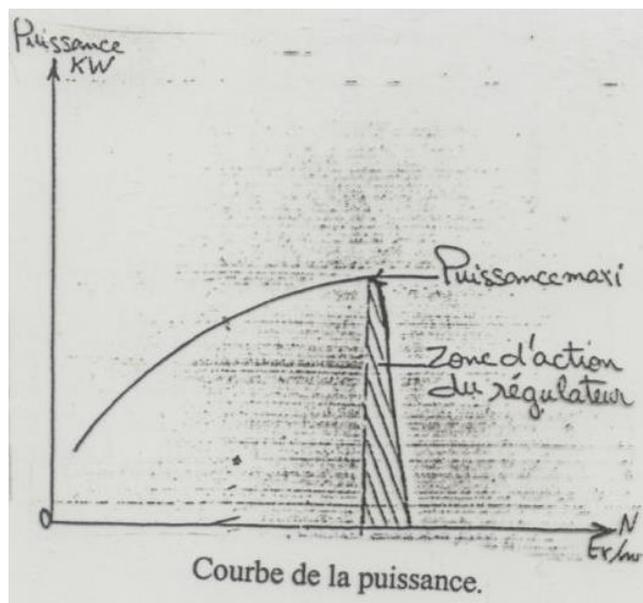
III. 2. 2. La puissance :

Le terme puissance couvre deux données très différentes :

➤ La puissance administrative ou puissance fiscale, exprimée en chevaux, calculée par l'administration pour la classification des véhicules et la détermination des taxes.

➤ La puissance réelle, est la puissance mécanique développée réellement par un moteur. Elle est exprimée en Watts et elle est le produit arithmétique du couple par la vitesse angulaire (ω) correspondante : Puissance (KW) = (Couple (Nm) * ω (rd/s))/1000.

La puissance peut aussi s'écrire : $P(\text{Watts}) = \text{Couple}(\text{Nm}) * 2\pi N/60$ (tr/mn).

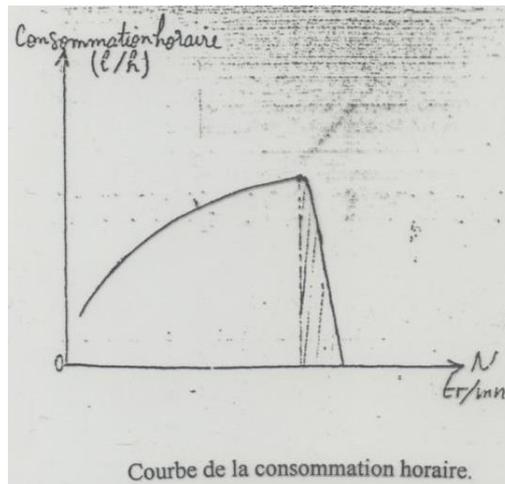


La courbe de puissance montre de droite à gauche, une montée très rapide vers le point de puissance maximale puis une retombée plus lente. Ce point de puissance maximale correspond à la limite de la zone d'action du régulateur, à un régime nettement supérieur à celui du couple maximal. Cette puissance est la valeur de la puissance d'un moteur obtenue au régime nominal et indiquée par le constructeur pour l'utilisation continue et normale du moteur. Ce régime correspond généralement au régime de coupure du régulateur de la pompe d'injection.

III. 2. 3. Consommation horaire :

La consommation des moteurs diesel, exprimée en litres/heure (l/h), est mesurée pendant l'essai du frein dynamométrique.

La courbe montre que la consommation horaire est fonction de la puissance développée par le moteur.



III. 2. 4. Consommation spécifique et le Rendement :

La consommation spécifique indique, pour chaque KW fournit par le moteur, la consommation de combustible en gramme par heure. Elle est exprimée en g/KW.h et elle se calcule par la relation :

$$C_s = (1000 \cdot V_h \cdot M_v) / P ;$$

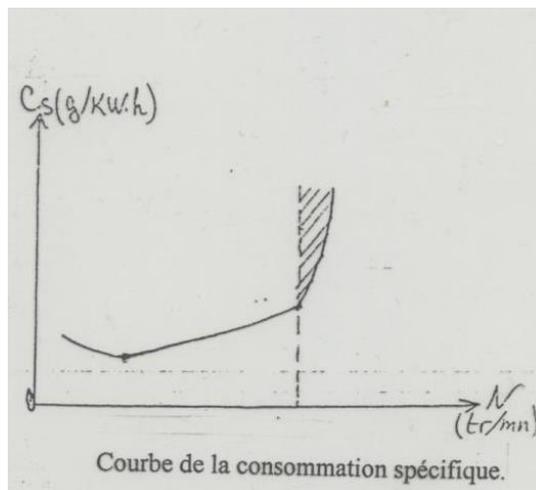
C_s : consommation spécifique (g/KW.h) ;

V_h : consommation horaire (l/h) ;

M_v : masse volumique du combustible ;

P : puissance (KW).

La courbe montre que la consommation spécifique est la plus faible dans la zone du couple maximal.



La consommation spécifique est une expression du rendement du moteur, puisqu'elle permet de comparer l'énergie absorbée avec l'énergie mécanique restituée par le moteur.

Le rendement est habituellement exprimé en valeur décimale ou en pourcentage. Pour les moteurs diesel, le rendement peut être lié approximativement à la consommation spécifique, par la relation : $R\% = (82/C_s) \cdot 100$.

R% : rendement ;

Cs : consommation spécifique (g/KW.h).

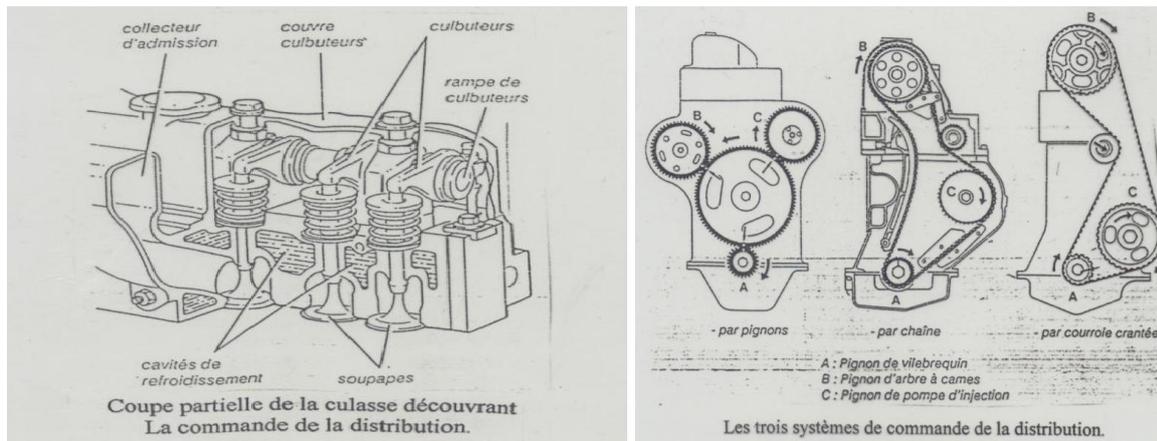
Plus la consommation spécifique est faible, meilleur est le rendement. Le moteur parfait qui transformerait totalement l'énergie qu'il consomme et qui aurait donc un rendement de 100% n'existe pas. Le fonctionnement des moteurs thermiques se traduit inévitablement par des pertes thermiques directes et indirectes et des pertes mécaniques.

IV. Autres fonctions du moteur :

IV. 1. La distribution :

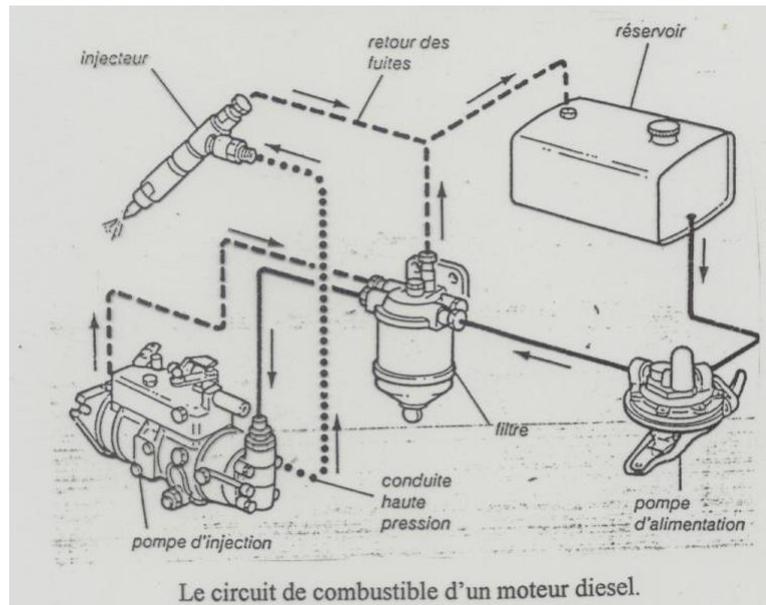
C'est l'ensemble des mécanismes qui commandent l'ouverture et la fermeture des soupapes, elle peut être commandée par pignons, chaîne ou courroie crantée. L'arbre à cames repose dans des paliers et reçoit le mouvement de rotation du vilebrequin par l'intermédiaire de la transmission. Il tourne toujours à $\frac{1}{2}$ de la vitesse de rotation du vilebrequin.

L'arbre à cames commande des poussoirs coulissant dans des alésages prévus dans le bloc-cylindres qui transmettent leur mouvement à des tiges de culbuteurs, ces derniers commandent la levée des soupapes.

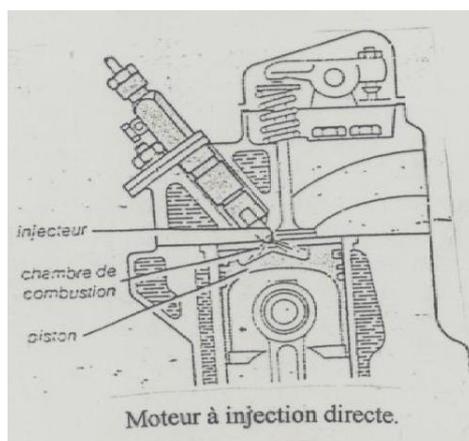
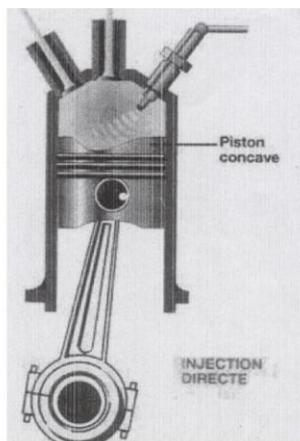


IV. 2. L'injection :

L'injection est l'introduction du combustible pulvérisé dans la chambre de combustion dans le cas des moteurs diesel à injection directe, ou dans la chambre de précombustion ou bien dans la chambre de turbulence dans le cas d'injection indirecte. L'injection est réalisée à l'aide d'un dispositif appelé injecteur alimenté de combustible pulvérisé à l'aide d'une pompe d'injection.



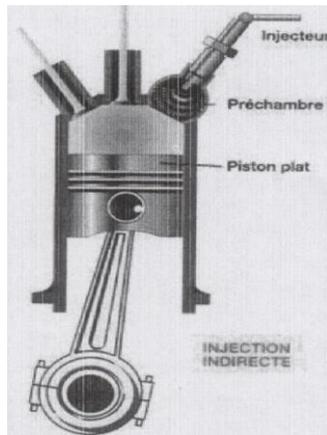
➤ **Chambre de combustion à injection directe** : dans les moteurs diesel à injection directe, cette chambre est creusée dans la face supérieure du piston et son fond constitue une paroi chaude aidant à l'inflammation. Les moteurs dotés de ce type de combustion ont un bon rendement et démarrent sans artifices auxiliaires.



➤ **Chambre de précombustion** : le jet de chaque injecteur du moteur diesel équipé d'un tel dispositif débouche dans une chambre auxiliaire ou préchambre, communiquant par d'étroits orifices avec le cylindre. Une partie de la paroi de cette préchambre atteint une forte température, afin de réduire le délai d'allumage. Le démarrage à froid du moteur nécessite un préchauffage électrique.

➤ **Chambre de turbulence** : c'est une chambre sphérique liée au cylindre par un large canal tangentiel qui débouche à la périphérie de la chambre. Au moment de la compression, cette cavité impose un mouvement de tourbillonnement à l'air qui y pénètre. Au moment de l'injection, l'air vient se charger progressivement en combustible. L'allumage est favorisé par une coquille de

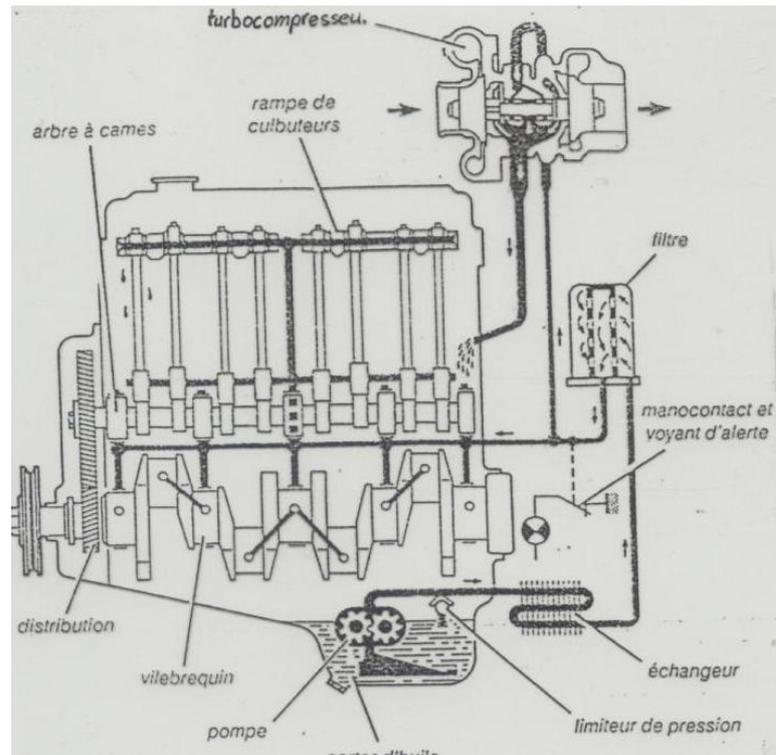
métal réfractaire porté à haute température. Le démarrage à froid du moteur nécessite un préchauffage électrique.



IV. 3. La lubrification :

La lubrification ou graissage consiste à établir un film lubrifiant entre les pièces en mouvement, afin d'éviter leur grippage et de réduire les frottements ce qui permet de diminuer les pertes de puissance et l'usure. L'huile est le fluide qui assure la lubrification des moteurs. Elle doit rester suffisamment visqueuse même aux hautes températures atteintes en cours de fonctionnement et qu'elle reste suffisamment fluide à froids pour permettre le démarrage des moteurs. Les lubrifiants doivent posséder de nombreuses propriétés dont les principales sont : anti-usure, extrême pression, détergence, dispersivité, anticorrosion...

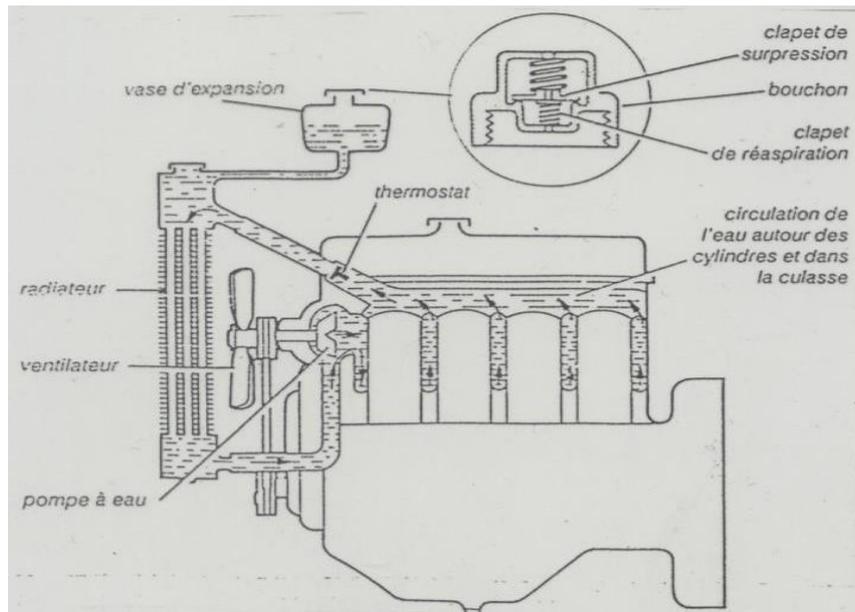
Pour assurer le circuit de lubrification, la pompe à huile aspire l'huile dans le carter et la refoule, sous pression, dans un réseau de canalisation de lubrification, vers les organes mobiles du moteur. Sur le refoulement de la pompe à huile, est placé un filtre qui retient les impuretés en suspension sur l'huile. La filtration des impuretés produites par le fonctionnement du moteur est indispensable afin d'éviter une usure prématurée des organes en mouvement.



IV. 4. Le refroidissement :

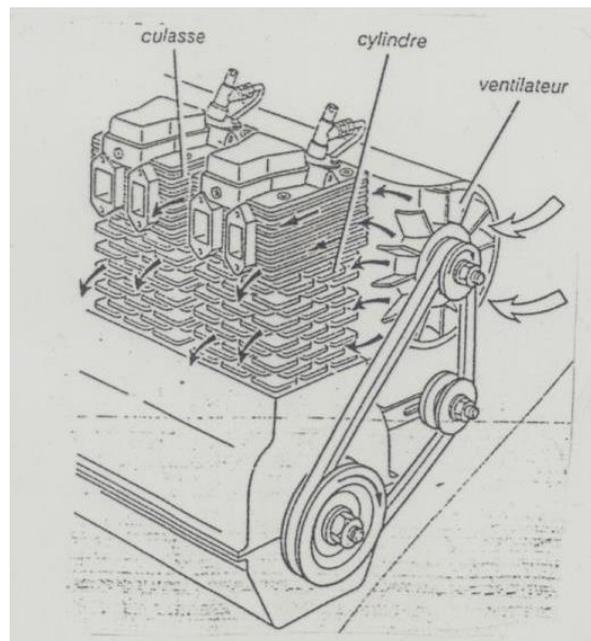
IV. 4. 1. Refroidissement par eau :

C'est la méthode la plus répandue de refroidissement des moteurs. L'eau ou le liquide de refroidissement circule autour des points chauds du moteur pour les refroidir et échanger la chaleur avec l'air ambiant par l'intermédiaire d'un radiateur. Cette eau passe dans un faisceau de petites tuyauteries traversées par le courant d'air produit par un ventilateur qui aspire l'air extérieur pour refroidir le radiateur, il est entraîné par le moteur directement ou par l'intermédiaire d'un embrayage ou même par un moteur électrique. La pompe à eau est une pompe centrifuge qui accélère la circulation de l'eau de refroidissement entre la sortie inférieure du radiateur et le bloc-cylindres. En raison des risques de gel et de corrosion, l'eau est mélangée à un antigel et à des aditifs anticorrosion.



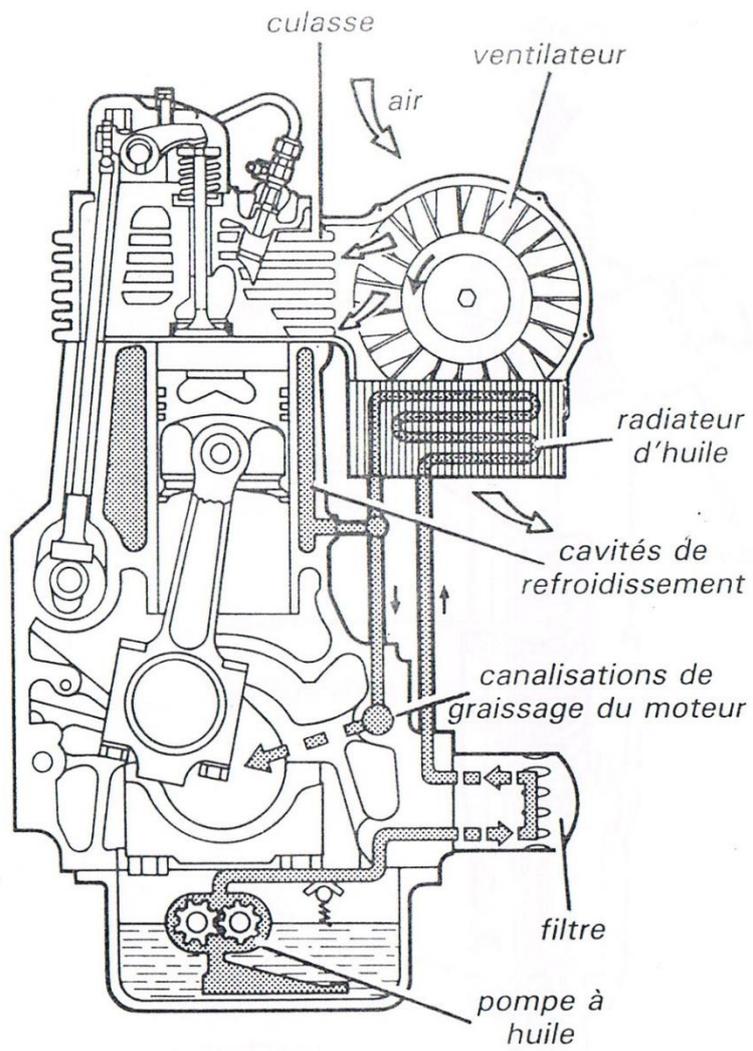
IV. 4. 2. Refroidissement par air :

Le cylindre et la culasse comportent des ailettes. L'air de refroidissement est activé par une turbine, il circule autour du moteur à travers les ailettes grâce à une gaine en tôle qui le canalise.



IV. 4. 3. Refroidissement par huile :

Système de refroidissement de certains moteurs dont les cylindres sont refroidis par un circuit d'huile dérivé du circuit de lubrification.



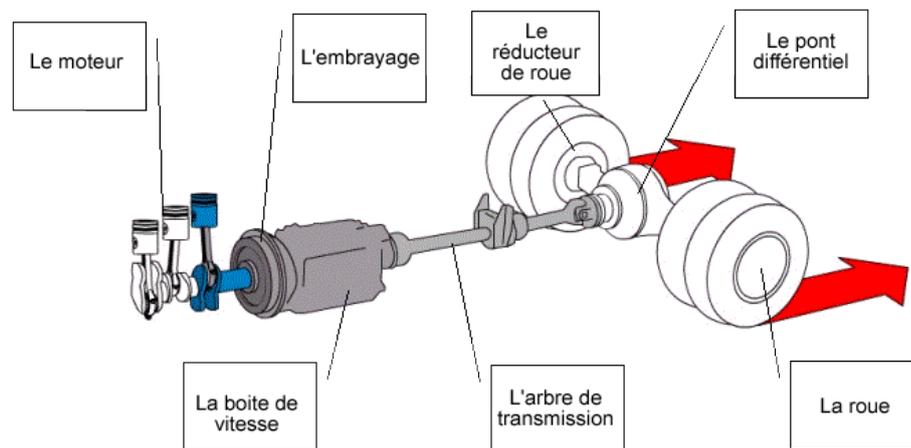
Circuit de refroidissement par huile.

Chapitre II: LES TRACTEURS AGRICOLES

I. Chaîne cinématique de la transmission :

Une chaîne cinématique est un ensemble de dispositifs mécaniques reliant un moteur à un organe d'application de la puissance développée par ce moteur.

En général, les transmissions mécaniques permettent l'entraînement des roues motrices, des prises de force et des organes des machines.



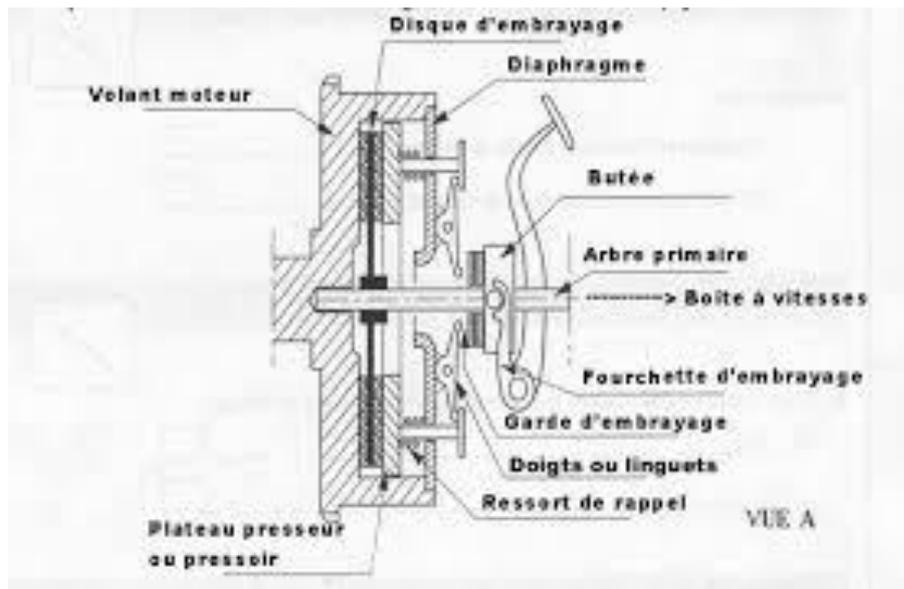
I. 1. L'embrayage :

C'est un dispositif mécanique permettant de solidariser progressivement ou désolidariser rapidement deux organes tournant indépendants. Ainsi, il permet de communiquer à l'un d'eux le mouvement de rotation de l'autre.

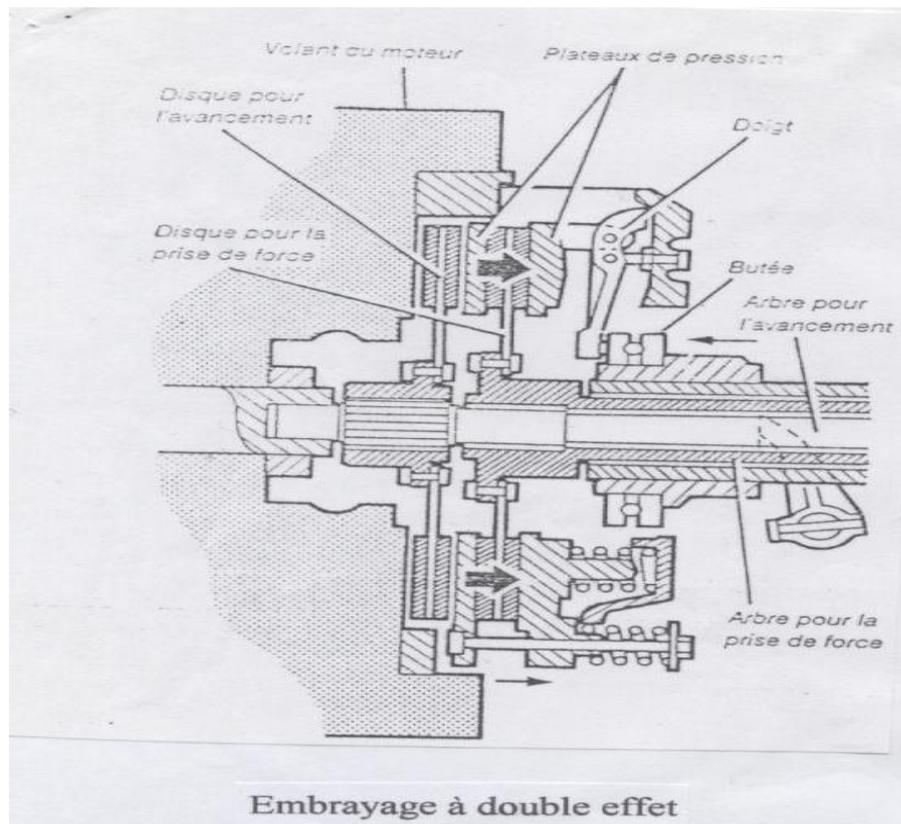
Selon les applications, les tracteurs peuvent être équipés d'embrayage à sec du type : mono-disque, bi-disque, double effet à commande libre ou à commande séparée, et d'embrayage multidisques fonctionnant le plus souvent dans l'huile.

Situé entre le moteur et la transmission, l'embrayage principal permet : le démarrage du moteur, l'accouplement et le désaccouplement du moteur de la transmission, et le passage des vitesses.

- **Embrayage à disque à simple effet** : il permet de désaccoupler ou d'accoupler l'arbre menant et un arbre mené unique. Dans ce cas l'embrayage comporte un seul disque placé entre le volant moteur et un plateau de serrage commandé par un système de ressorts et de leviers. L'action d'embrayage est réalisée par des ressorts qui pressent le plateau contre le disque. Le débrayage est assuré par le conducteur.

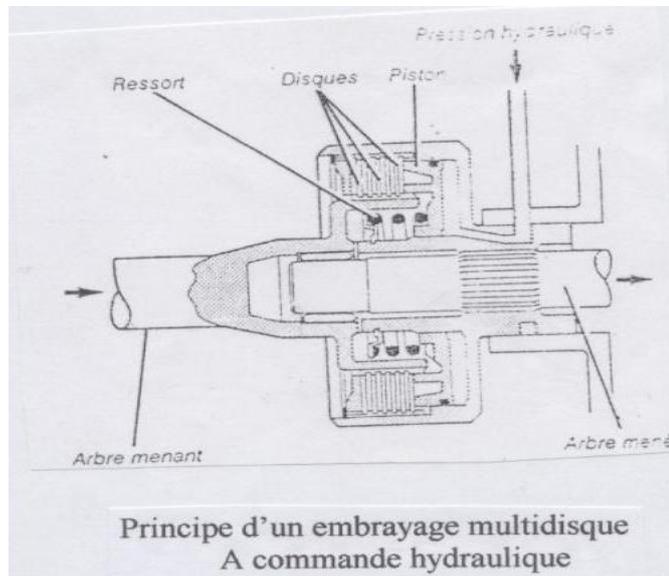


- **Embrayage à disque à double effet** : dans ce cas, à partir d'une commande unique (pédale), l'embrayage permet de solidariser ou de désolidariser successivement et dans un ordre donné deux arbres menés (celui de l'avancement et celui de la prise de force du tracteur) de l'arbre menant. L'embrayage comporte alors deux disques et deux plateaux de serrage.



- **Embrayage double à commande séparée** : embrayage à deux disques et deux plateaux pouvant être commandés séparément, ce qui conduit à une prise de force indépendante. Car le moteur et la prise de force peuvent être débrayés séparément.

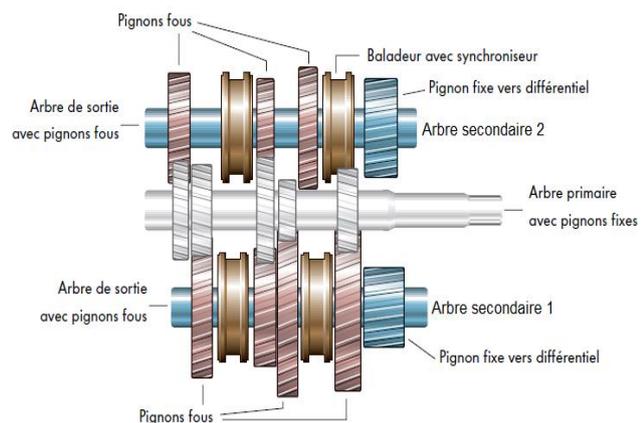
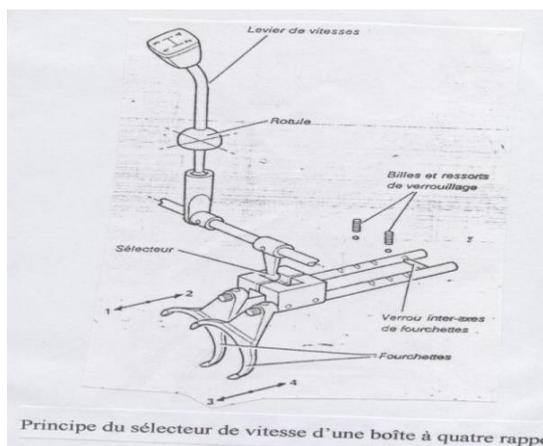
- **Embrayage multidisque** : il est constitué d'une superposition de disques métalliques menants et menés dont les surfaces de friction sont baignés d'huile. L'embrayage est obtenu par compression hydraulique ou mécanique, et le débrayage par ressort ou inversement.



I. 2. Les boîtes de vitesses :

C'est un élément de transmission permettant d'obtenir, au choix, plusieurs rapports de démultiplication entre un arbre d'entrée et un arbre de sortie.

Une boîte de vitesse classique est constituée d'un mécanisme de commande dit « sélecteur de vitesse », qui permet au conducteur de mettre en action tel train d'engrenage donnant le rapport de démultiplication souhaité. En outre, le sélecteur commande le désaccouplement de l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie (position dite : point mort).





Le couple aux roues motrices est directement proportionnel au rapport de démultiplication de la transmission. Au contraire, la vitesse est inversement proportionnelle à ce même rapport.

L'effort de traction que peut développer le tracteur dépend du rapport de démultiplication. Pour obtenir un grand effort, il faut une forte démultiplication et réciproquement, ceci dans les limites de l'adhérence.

Les tracteurs sont équipés d'une boîte de vitesse à quatre ou six rapports avant, complétée d'une boîte dite « de présélection de gammes » comportant une combinaison route, une combinaison champs, et parfois une combinaison dite rampante, permettant des vitesses d'avancement très réduites.

La marche arrière peut être obtenue soit par la boîte de vitesse elle-même, soit par la boîte de présélection de gammes ou grâce à un inverseur de marche à commande séparée.

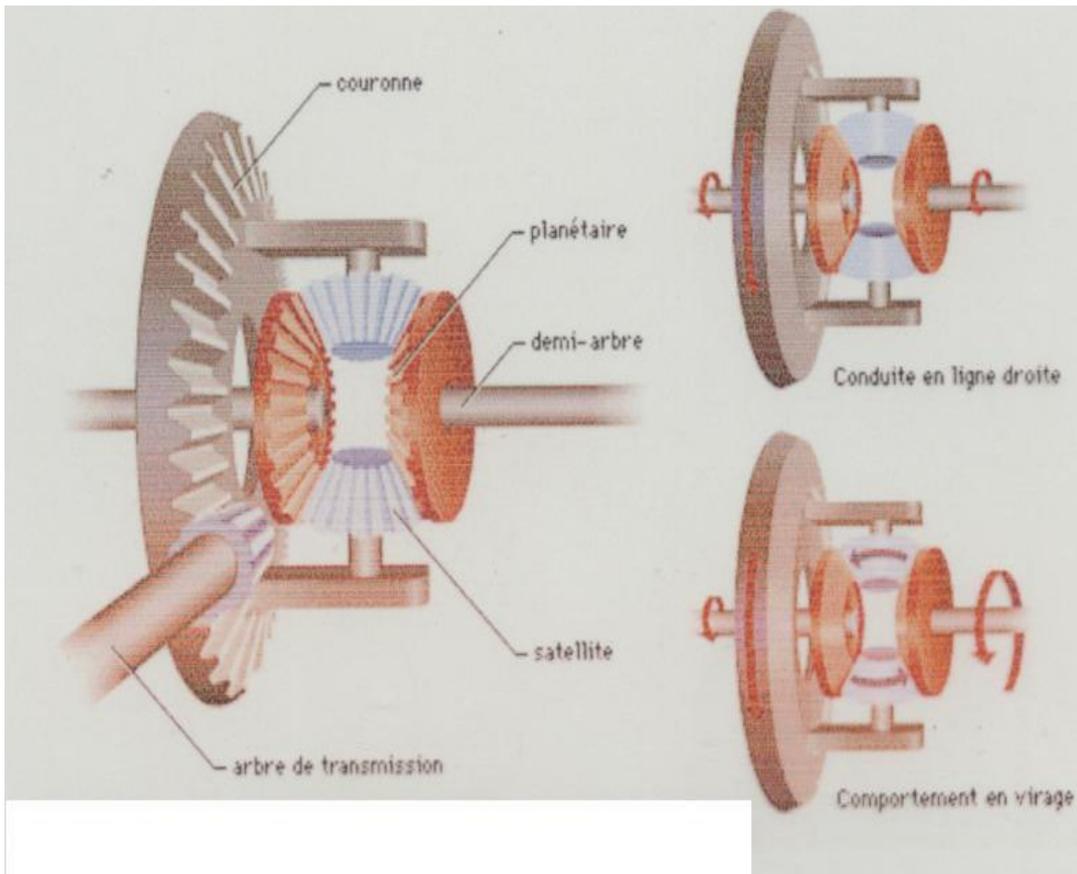
II. Transmission centrale :

II. 1. Différentiel :

Dispositif permettant à deux roues motrices disposées sur un même essieu de tourner à des vitesses différentes avec des couples égaux, ce qui est indispensable pour qu'un véhicule puisse évoluer en virages.

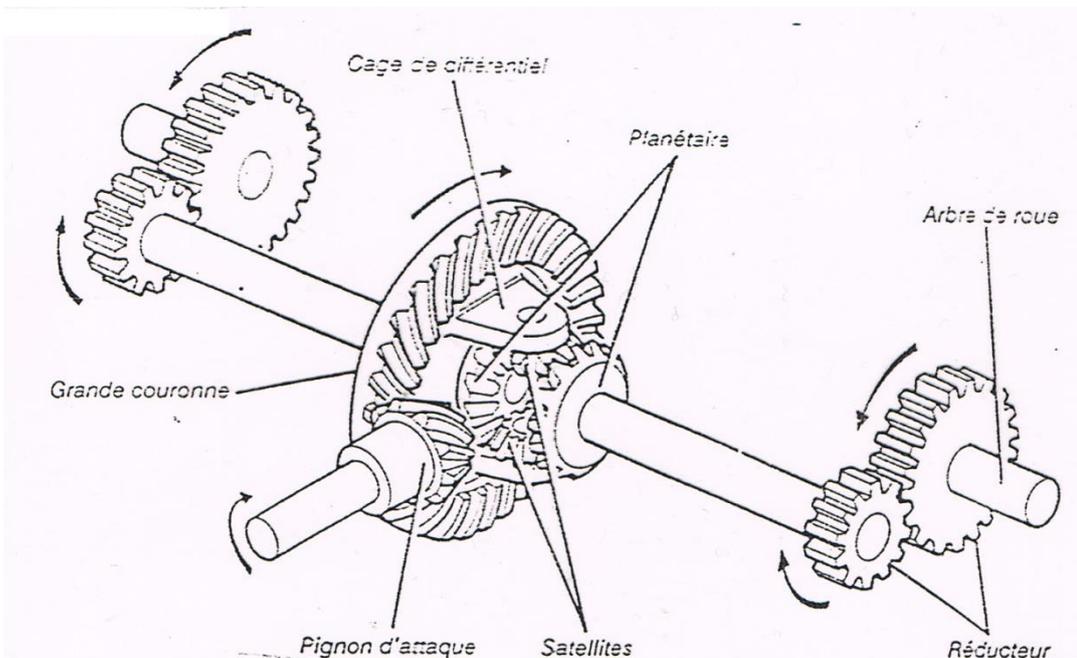
Lorsque l'adhérence d'une roue est faible, le couple à chacune des roues étant limité au couple résistant, il convient dans certains cas de procéder au blocage du différentiel pour éviter, en ligne droite, le patinage de la roue motrice la moins adhérente.

Un différentiel est formé essentiellement de deux pignons coniques, appelés planétaires, qui sont solidaire de chacun des demi-arbres de sortie commandant les roues motrices. Ces planétaires engrainent avec des pignons coniques appelés satellites entraînés par la cage de différentiel.



II. 2. Réducteur final de roue motrice :

Train d'engrenage placé entre l'arbre de sortie de différentiel et la roue motrice du tracteur, de façon à réduire la vitesse de rotation de cette dernière (tout en augmentant par conséquent le couple).



III. Relevage hydraulique et système d'attelage :

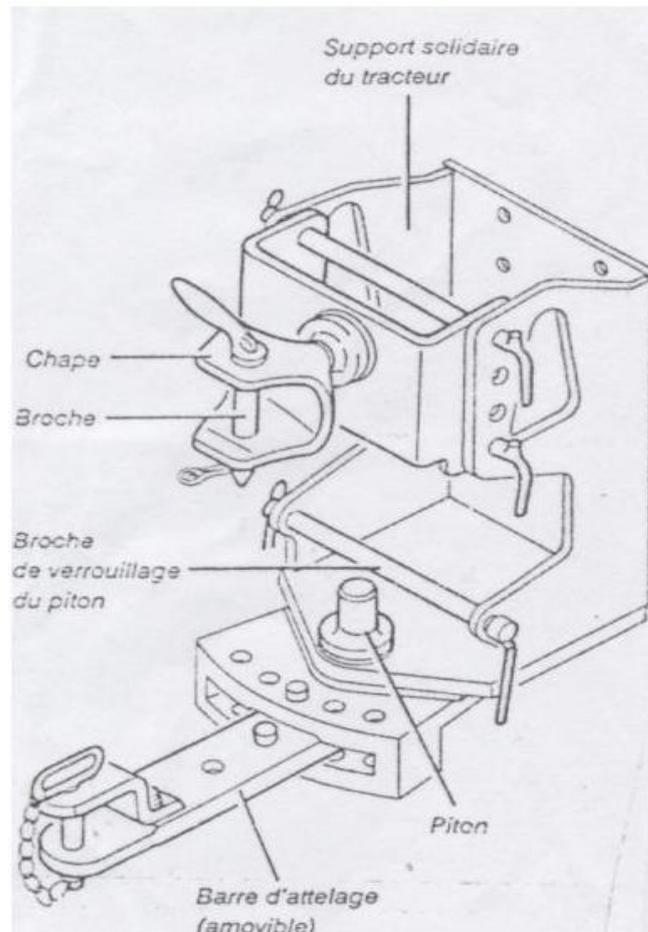
III. 1. Différents modes d'attelage :

Il existe trois modes d'attelage des machines agricoles : porté, semi-porté, ou traîné.

- **Outil porté** : dans ce cas le matériel est adapté au tracteur de telle façon que l'attelage du tracteur supporte tout son poids. Il est relié au tracteur par un attelage à trois points actionné par le relevage hydraulique.
- **Outil semi-porté** : le matériel est attelé de telle façon qu'une partie de son poids soit supporté par le tracteur et que l'autre partie repose en un ou plusieurs points sur le sol.
- **Outil traîné** : le matériel est adapté au tracteur de telle façon que l'essentiel du poids soit supporté par le sol.

III. 2. Dispositifs d'attelage :

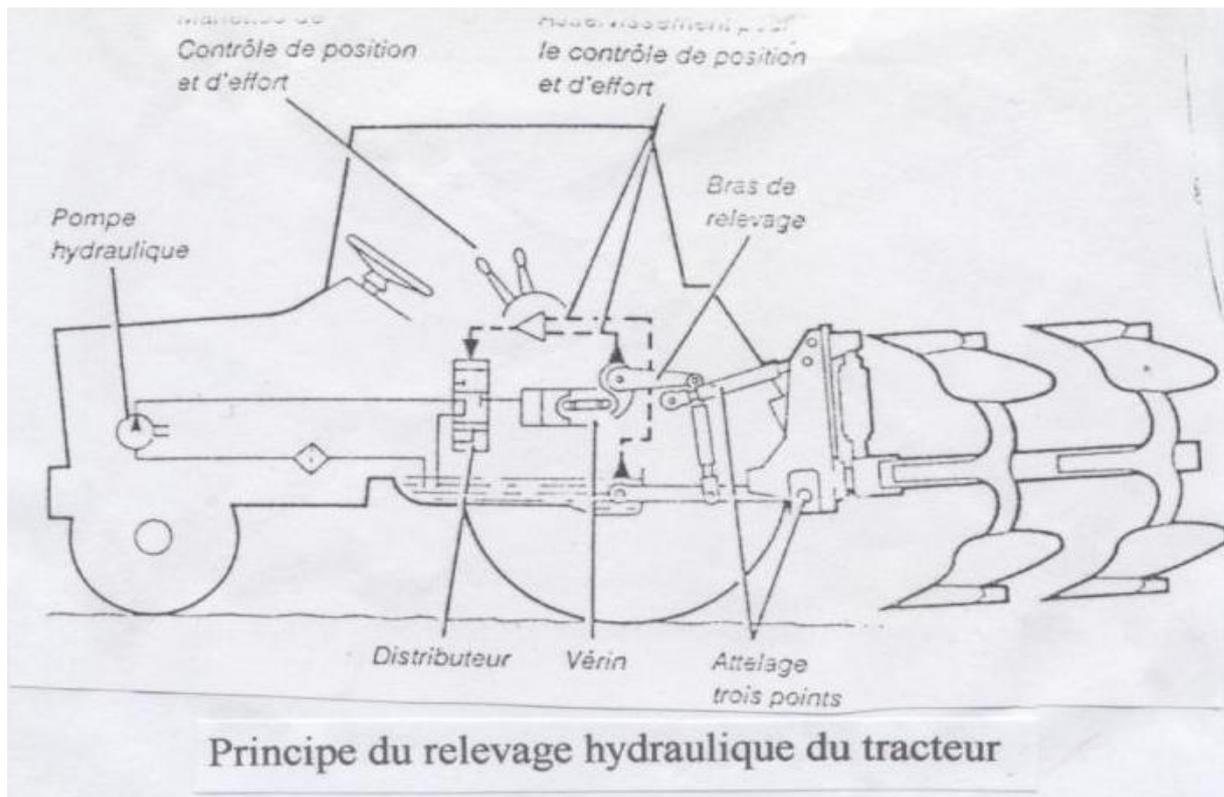
- **La chape d'attelage** : c'est un élément qui permet l'accrochage de l'anneau d'attelage d'une remorque traînée. Une broche dans cette chape réalise le verrouillage. Elle est réglable en hauteur et son axe longitudinal est pivotant.
- **Le piton d'attelage** : c'est un axe vertical situé à l'arrière du tracteur et spécialement prévu pour l'attelage des remorques, épandeurs et pulvérisateurs semi-portés.
- **La barre d'attelage** : appelée aussi timon oscillant, fixée sous le tracteur. Elle est prévue pour des efforts de traction élevés. Le recul du point d'attelage par rapport au tracteur permet le fonctionnement des transmissions dans les meilleures conditions. On l'utilise par exemple pour les faucheuses traînées, ramasseuses presses et ensileuses.
- **Le crochet automatique** : peut remplacer le piton pour les outils semi-portés. Il s'agit d'un crochet pendulaire actionné depuis le poste du conducteur grâce au relevage hydraulique ou par un circuit hydraulique séparé. Le verrouillage est obtenu automatiquement et le déverrouillage par action mécanique commandée.



III. 3. Relevage hydraulique :

Le relevage hydraulique des tracteurs agricoles utilise un circuit hydraulique comportant : pompe, distributeur, vérin simple effet, et limiteur de pression. La principale particularité se trouve au niveau du distributeur, qui n'est pas commandé directement par l'utilisateur, mais par des asservissements. Le principe de cet asservissement est de faire correspondre à chaque position de la manette une hauteur de l'outil.

En effet, le relevage doit permettre : le contrôle de la position de l'outil au travail, le contrôle de l'effort de traction, et de l'adhérence du tracteur.



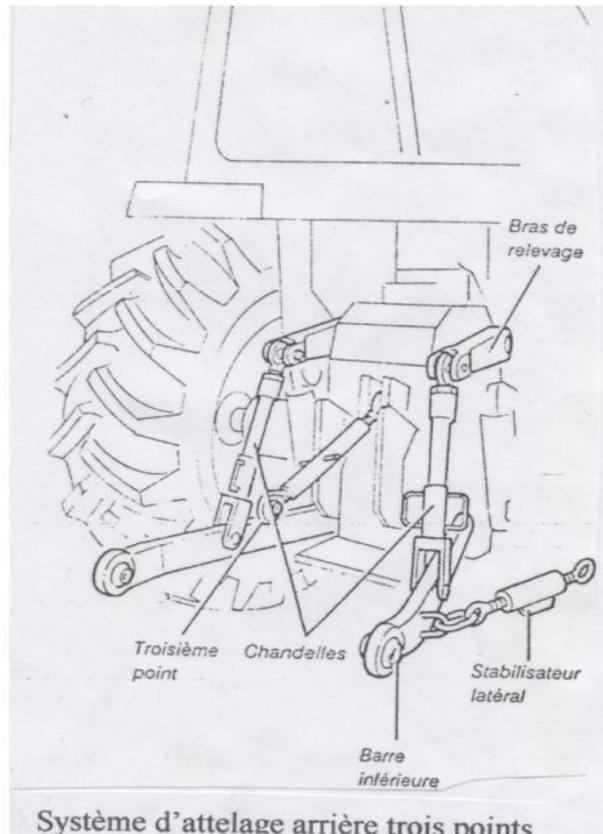
III. 4. L'attelage trois points :

Actionné par le relevage hydraulique, c'est l'attelage des outils portés ou semi-portés.

L'effort de traction est transmis par deux bras inférieurs, portant à leur extrémité les rotules de fixation de l'outil. Ces deux points peuvent suffire pour l'attelage de certains outils semi-portés.

Avec des outils portés il faut un troisième point situé à l'extrémité de la barre supérieure.

Les bras de relevage permettent la variation de la hauteur de l'ensemble par l'intermédiaire de deux chandelles réglables.



IV. Différents types de tracteurs :

Les tracteurs sont des engins automoteurs susceptibles de fournir un effort de traction relativement élevé par rapport à leur poids, même sur terrain dont l'adhérence n'est pas bonne. Ils sont destinés à tirer, pousser, porter et animer les machines destinées aux travaux agricoles.

On en rencontre plusieurs types de tracteurs :

IV. 1. Les tracteurs à deux ou quatre roues motrices :

Pour les tracteurs à quatre roues motrices, les roues avant directrices ont, le plus souvent, un diamètre plus faible que les roues arrières et elles ne sont effectivement motrices qu'à la demande du conducteur, ou parfois automatiquement. Ils ne comportent pas de châssis.

Afin d'adapter au mieux l'adhérence de chaque roue motrice, les tracteurs, selon qu'ils soient à deux ou à quatre roues motrices, présentent une répartition statique des masses différentes sur les essieux avant et arrière.

IV. 2. Les tracteurs à quatre roues motrices égales :

Ils peuvent être soit à roues avant directrices, soit à articulation centrale, soit à quatre roues directrices :

- **Les tracteurs articulés :** sont munis d'un châssis en deux parties mobiles autour d'un point central. La direction est assurée par la variation de l'angle formé par les deux éléments du châssis.

- **Les tracteurs à quatre roues directrices** : permettent de faibles rayons de braquage, et parfois des combinaisons de déplacement telle « la marche en crabe ». ils comportent en général un châssis comme les véhicules routiers.

IV. 3. Les tracteurs agricoles spécialisés :

Sont des tracteurs présentant une architecture adaptée à certains travaux des exploitants agricoles, tels que : tracteurs étroits, vigneron, arboricoles, ...etc.

Parmi eux, le tracteur enjambeur équipé d'un châssis permettant d'avoir un dégagement important au-dessus du sol (1 mètre) pour le travail dans les vignes ou les cultures arbustives basses.

IV. 4. Les tracteurs forestiers :

A quatre roues motrices, ils sont munis d'un bouclier, de divers dispositifs de protection du conducteur et des mécanismes et de dispositifs de levage ou de débardage permettant les travaux en forêts.

IV. 5. Les microtracteurs :

A deux ou quatre roues motrices de taille et de puissance réduite. Ils sont destinés aux travaux sur de petites surfaces : horticulture, entretien de jardins et d'espaces verts...etc.

IV. 6. Les tracteurs à chenilles «chenillards» :

Sont des engins de traction dont les organes de propulsion sont composés de deux chenilles métalliques ou caoutchoutées, entourant un barbotin-moteur et une roue de tension, le poids du tracteur étant réparti sur plusieurs galets-porteurs appliquant la chenille au sol.

Ce type de tracteur exerce une faible pression au sol, ce qui permet son évolution sur des surfaces à faible portance.

Chapitre III : TRAVAIL DU SOL

Introduction :

Le travail du sol regroupe toutes les façons culturales qui maintiennent un état structural de la terre favorable au développement de la plante. Ceci pour faciliter la germination, la croissance et l'installation des racines. Il permet aussi l'enfouissement des résidus des récoltes (chaumes), l'amendement (engrais minéral et organique), ainsi que la destruction de la végétation nuisible.

On peut citer parmi les objectifs principaux du travail du sol :

1. amélioration de la structure du sol : cela consiste à réduire sa ténacité et sa compacité, créant ainsi les conditions plus adaptées au développement des racines et facilitant l'exécution d'autres façons culturales ;
2. augmentation de la perméabilité et de la porosité : cela facilite l'infiltration de l'eau, ce qui a plusieurs effets : limiter les eaux stagnantes ainsi que le ruissellement en surface, source d'érosion, améliorer l'équilibre entre l'eau et l'air dans le sol grâce à l'écoulement plus rapide de l'eau en excès, et enfin favoriser la réalimentation des réserves d'eaux souterraines ;
3. préparation du lit de semence : l'émiettement des mottes crée un environnement qui place les semences dans les meilleures conditions de germination en facilitant leur contact avec les particules du sol et leur humidification.

Le travail du sol peut également avoir de nombreux autres effets, comme :

1. la limitation des infestations par les plantes adventices,
2. la limitation des pertes d'eau par évaporation,
3. l'égalisation de la surface du terrain,
4. l'enfouissement d'engrais, d'amendements ou d'autres substances telles que des herbicides de prélevée.

Définition des différents états du sol et son comportement :

La consistance d'un sol varie considérablement avec la teneur en eau du sol. En faisant décroître progressivement la teneur en eau d'un échantillon de sol on constate que le sol passe successivement par plusieurs états:

• Etat liquide à teneur en eau élevée.

Le sol se comporte comme un liquide. Sa résistance au cisaillement est nulle et il se répand lorsqu'on le déverse. Les grains du sol sont pratiquement séparés par l'eau.

• Etat plastique :

Le sol est stable naturellement mais, dès qu'un effort lui est appliqué, il est le siège de déformations importantes, en grande partie non réversibles sans variation notable de volume et sans apparition de fissures.

• Etat solide :

Le sol a le comportement d'un solide, l'application d'un effort n'entraîne que de faibles déformations. Le passage à l'état solide s'effectue au départ avec réduction du volume ou retrait, puis à volume constant donc sans retrait.

Estimation de la consistance du sol :

La consistance du sol doit être estimée sur la parcelle juste avant le travail, pour cela :

On doit prélever quelques mottes de terre dans la zone de travail et essayer de les émietter entre les doigts et comparer les résultats obtenus au tableau suivant :

Comportement	Dure	Friable	Semi-plastique	Plastique
Battant ou sableux	Motte impossible à briser	La motte s'énfacilement	La motte est savonneuse	La motte devient liq
Intermédiaire	Motte impossible à briser	La motte s'émiette coller	La motte s'émiette collant	La motte est modelable
Argileux	Motte impossible à briser	La motte s'émiette collant un peu	La motte se déforme s'émiette difficilement	La motte est modelable

Limites et indices d'Atterberg :

Limite de liquidité

La limite de liquidité (w_l) caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage, au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide visqueux sous l'influence de son propre poids. Formule de la teneur en eau pondérale: Masse d'eau (g)/Masse de sol sec (g).

Limite de plasticité

La limite de plasticité (w_p) caractérise la transition entre un état solide et un état plastique. Cette limite indique la teneur en eau pondérale, en pourcentage, maximale pour travailler un sol et éviter la compaction. En dessous de cette limite, le sol est friable ou facilement travaillable d'un point de vue agronomique. La limite de plasticité est déterminée par le modelage d'un petit fil avec la partie fine d'un sol sur une surface plane, non poreuse. Elle est définie comme étant la teneur en eau, où le

fil se casse à un diamètre de 3 mm. Un sol est considéré comme non-plastique, si un fil ne peut pas rouler jusqu'à 3 mm, quel que soit le taux d'humidité de la partie fine du sol.

Indice de liquidité

$$I_l = \frac{W - W_p}{I_p}$$

Indice de densité

$$I_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Indice de plasticité

Il mesure l'étendue de la plage de teneur en eau dans laquelle le sol se trouve à l'état plastique, $I_p = w_l - w_p$

Suivant la valeur de leur indice de plasticité. Les sols peuvent se classer comme suit :

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

Indice de consistance

Il s'agit d'un indicateur dérivé :

$$I_c = \frac{w_l - w}{I_p} \quad \text{où } w = w \text{ normale de l'échantillon}$$

Choix des états favorables aux différents travaux du sol :

La distribution des types des sols se fait d'après leur comportement vis-à-vis les outils de travail du sol. Le comportement du sol dépend à la fois de la granulométrie (teneur en argile) et du climat environnant. Par exemple :

- Un sol pauvre en argile n'a pas un comportement battant sous un climat sec, alors qu'il l'est sous un climat humide.

- De même, un sol riche en argile ne colle pas aux outils sous un climat sec.

De ce fait, il faut retenir les caractéristiques dominantes de la parcelle et estimer le tableau suivant :

30% ARGILE 15% ↓	En automne, la terre collée aux outils reste en masse sans s'émietter. arrive :	A la sortie d'hiver, le sol battant ?	Comportement du sol :
	Jamais	Très souvent	Sol battant ou sableux
	De temps en temps	De temps en temps	Comportement intermédiaire
	Très souvent	jamais	Comportement argileux

Travail du sol conventionnel:

Le travail du sol conventionnel regroupe trois opérations distinctes :

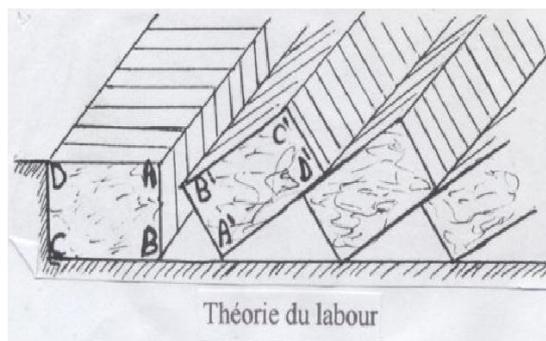
- Les labours ;
- La reprise de labours ou pseudo-labour ;
- Les façons superficielles.

Les labours :

Le but du labour est d'ameublir et d'assainir la couche arable, ce qui accélère la vitesse de ressuyage et facilite son exploitation par les racines des cultures. Il permet aussi d'enfouir et de mélanger au sol les résidus de récolte pour qu'ils ne gênent pas la préparation du lit de semence, de détruire par enfouissement la végétation nuisible et certains parasites et de faciliter la préparation du lit de semence. Les indices qualitatifs et énergétiques du lit de semence sont en fonction de :

- La nature physique et chimique du sol à travailler.
- La profondeur de la couche arable.
- L'époque de l'année (le climat).

Théorie du labour :



Le labour consiste théoriquement à découper une bande de terre de section rectangulaire ABCD, et à la retourner dans une position A'B'C'D' placée environ à 45°. Cette position peut varier dans la pratique selon le rapport largeur par profondeur de labour.

La distance AB représente la **profondeur** du labour.

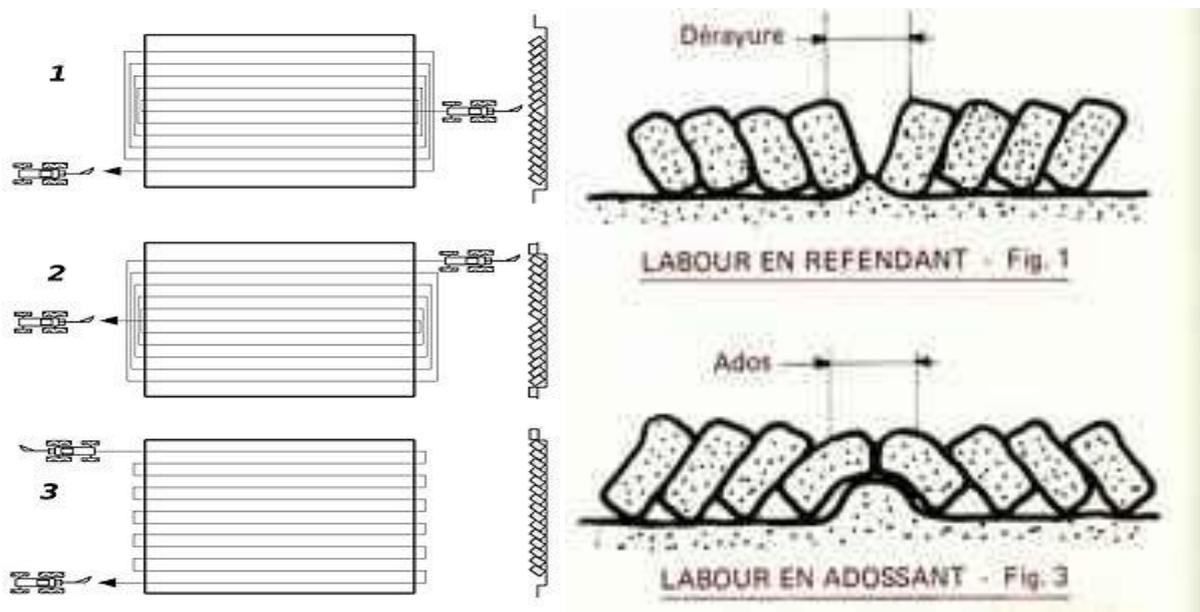
La distance BC représente la **largeur** du labour.

Le plan déterminé par la ligne AB se nome **muraille** ou quelquefois **frayon**.

Le plan déterminé par la ligne BC représente le **fond de raie** ou **jauge**.

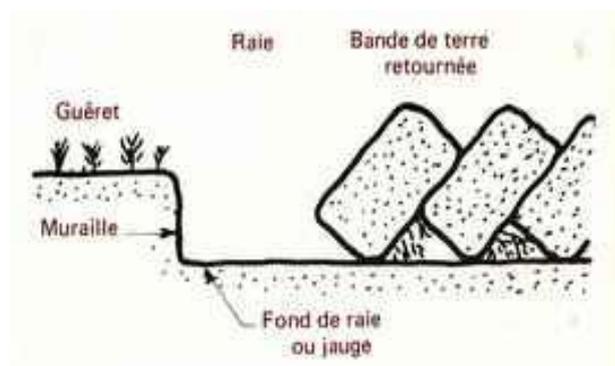
La surface rectangulaire ABCD représente la **section** du labour.

Types de labour :



Méthodes de labour en plan

1. Labour en planche en adossant.
2. Labour en planche en refendant.
3. Labour à plat.



Selon son déroulement en plan et le type de charrue utilisée, le labour peut se faire de deux manières :

- **le labour à plat**, les bandes de terre étant toujours rejetées du même côté. Il nécessite l'usage d'une charrue réversible de façon à pouvoir inverser le sens du déversement lors d'un aller et retour ;
- **le labour en planches ou billons**. C'est le seul réalisable avec une charrue simple qui tourne autour de la parcelle, et il peut se faire :
 - **en refendant**, les bandes étant rejetées vers l'extérieur de la planche (laissant au centre de la planche une « dérayure »),
 - **en adossant**, les bandes étant rejetées vers l'axe de la planche (laissant au centre de la planche un « ados »).

On peut distinguer selon la profondeur du travail :

- les **labours légers**, de 10 à 15 cm, réalisés notamment pour la reprise de labours au printemps,
- les **labours moyens**, de 15 à 30 cm, les plus répandus, notamment pour la culture des céréales,
- les **labours profonds**, de 30 à 40 cm, pour des cultures à enracinement profond (betterave, luzernes, etc.),
- au-delà de 40 cm, des **labours de défoncement**, sont réalisés notamment pour permettre la mise en culture de nouvelles terres ou pour préparer la plantation de vergers.

On peut distinguer selon l'inclinaison des bandes :

- **labour dressé**,
- **labour jeté**,
- **labour plat**.

Matériel de labour :

Le matériel destiné à l'exécution du labour est la charrue. La classification des charrues peut se faire selon plusieurs critères :

1. D'après la destination :

- charrue pour labour aux champs.
- Charrue pour labour en verger.
- Charrue pour labour de vignoble.
- Charrue défensiveuse.

2. D'après la forme des pièces travaillantes :

- Charrue à socs et versoirs.
- Charrue à disques.

3. D'après le mode de labour :

- Charrue normale (tourne le sillon d'un seul côté).
- Charrue réversible ou balancier (tourne le sillon successivement sur les deux côtés).

4. D'après la profondeur de labour :

- Charrue pour labour superficiel (08 à 15cm).
- Charrue pour labour normal (15 à 25cm).
- Charrue pour labour profond (25 à 35cm).
- Charrue défensiveuse (plus de 35cm).

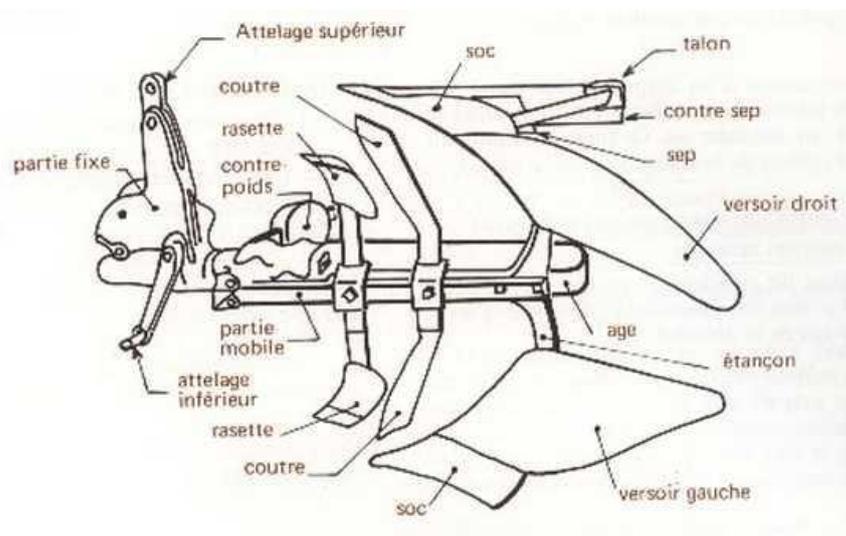
5. D'après le mode d'attelage :

- Charrue traînée (tirée).
- Charrue semi-portée.
- Charrue portée.

I. Charrue à socs et versoirs :

I. 1. Constitution :

La charrue à socs et versoirs est constituée des organes suivants :

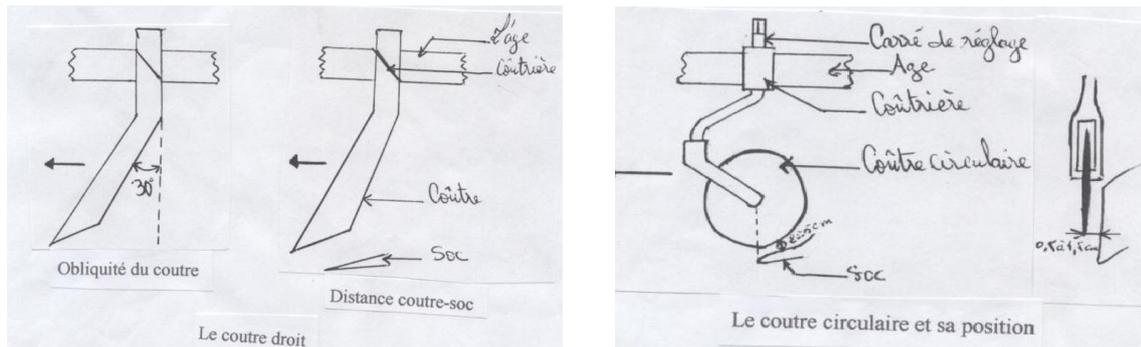


I. 1. 1. Pièces travaillantes :

L'ensemble « soc, versoir » joue le rôle principal en exécutant par son déplacement dans le sol le découpage du sillon. Ce dernier est comprimé, déplacé et renversé sur la bande de terre précédemment labourée. Le découpage dans le plan vertical est assuré par le coutre.

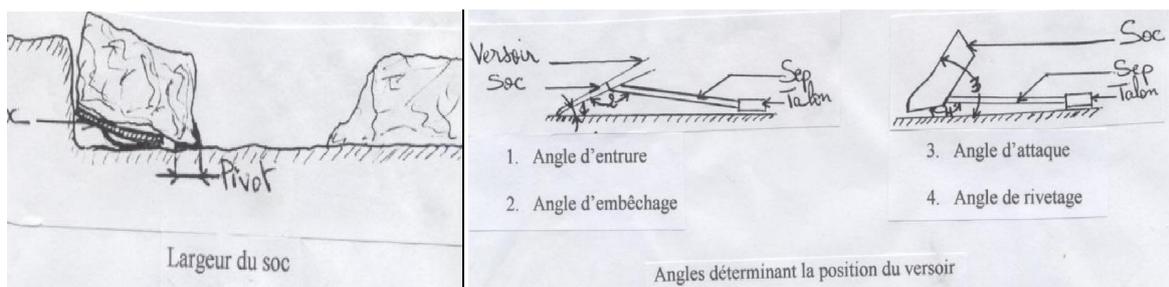
I. 1. 1. 1. Le coutre :

C'est une pièce sous forme de couteau ou disque, sa partie tranchante est disposée de façon à découper verticalement la bande de terre à travailler. Il est donc généralement placé à l'avant des autres pièces travaillantes. On distingue deux types : **Coutre droit** et **Coutre circulaire**.



I. 1. 1. 2. Le soc :

C'est une lame d'acier généralement trapézoïdale. Son rôle est de découper horizontalement la bande de terre coupée verticalement par le coutre et amorcer son soulèvement afin de la renverser par le versoir. La largeur du soc est légèrement inférieure à la bande de terre de façon à laisser une partie servant de pivot au moment du retournement.



Sa position est déterminée par quatre angles :

- **Angle d'entrure** : il oblige la charrue à chercher constamment à rentrer en terre. Sa valeur est de 5° à 15° mais il peut atteindre 25° pour labour rapide.
- **Angle d'attaque** : il donne de l'obliquité au tranchant du soc pour faciliter le découpage de la terre. Il est de 45° mais sa valeur peut descendre jusqu'à 35° sur certains corps pour labour rapide.
- **Angle d'embêchage** : il reporte l'appui de la charrue sur deux points ce qui en augmente la stabilité tout en réduisant l'usure. Sa valeur est légèrement inférieure à 180° .
- **Angle de rivetage** : son rôle et sa valeur sont identiques à l'angle d'embêchage mais dans un plan vertical.

I. 1. 1. 3. Le versoir :

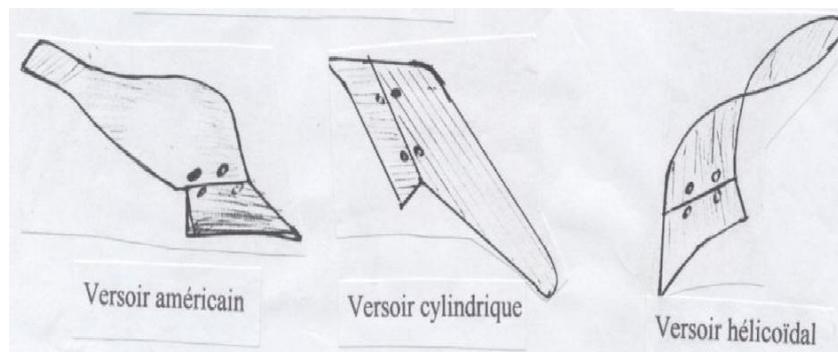
Le rôle du versoir est de retourner la bande de terre préalablement découpée par le coutre et le soc. Les versoirs sont fabriqués d'acier triplex et leur forme détermine la façon du retournement. Cette forme peut être cylindrique, hélicoïdale, ou mixte.

- **Versoir hélicoïdal** : cette forme permet au versoir d'accompagner la bande de terre jusqu'au bout de son retournement, ce qui permet d'obtenir un labour bien versé même en terre forte. La

terre est bien ameublée comparant au versoir cylindrique. On l'emploie surtout pour labour peu profond.

- **Versoir cylindrique** : il amorce le retournement de la bande de terre qui devra ensuite se terminer grâce à l'action combinée de la gravité et la vitesse. Il ne pourra pas être utilisé pour les sols lourds ni à une traction très lente. Par contre, l'effort de traction qui lui est nécessaire est un peu inférieur et l'ameublissement obtenu bien meilleur. En outre, il convient au labour profond.

- **Versoir mixte ou universel** : il est cylindrique dans sa partie basse, et hélicoïdal sur une plus ou moins grande longueur de sa partie postérieure. Il associe les avantages des deux formes et il est le plus couramment utilisé.



I. 1. 1. 4. La rasette :

Elle est constituée par un véritable corps de charrue en miniature. Elle est généralement placée en avant des autres pièces et fixée sur l'âge. Son travail consiste à peler la partie superficielle du sol et à l'envoyer dans le fond de la raie de façon que toute l'herbe, le fumier ou les débris végétaux soient parfaitement enfouis en laissant ainsi un labour parfaitement propre.

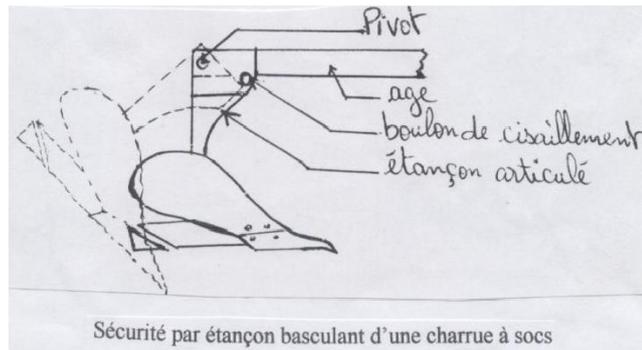
I. 1. 2. Pièces de soutien :

I. 1. 2. 1. L'âge :

C'est la principale pièce de soutien par laquelle s'exerce la traction de la charrue. Il supporte les corps de charrue à l'aide des étançons. Sa forme générale est rectiligne à section ronde ou rectangulaire.

I. 1. 2. 2. Les étançons :

Leur rôle est de supporter les corps de charrue. Ils sont fixés sur l'âge par boulonnage. La liaison entre l'étauçon et le bâti comporte un dispositif de sécurité à base de ressort ou de rivet de cisaillement permettant à l'ensemble soc-versoir de dépasser les obstacles.



I. 1. 2. 3. Le sep :

Le rôle du sep est de relier les extrémités inférieures des étançons. Il se termine à sa partie avant par la palette qui comporte les trous de fixation du soc et du bas du versoir.

I.1. 2. 4. La roue d'appui :

Elle est fixée sur l'âge de la charrue portée et a le rôle de maintenir la profondeur de travail constante en roulant sur le chaume. Il n'existe pas de roue d'appui sur les charrues portées par des tracteurs munis d'un relevage hydraulique à réglage automatique. Les charrues traînées sont munies de trois roues : la roue de chaume, la roue de raie, et la roue arrière.

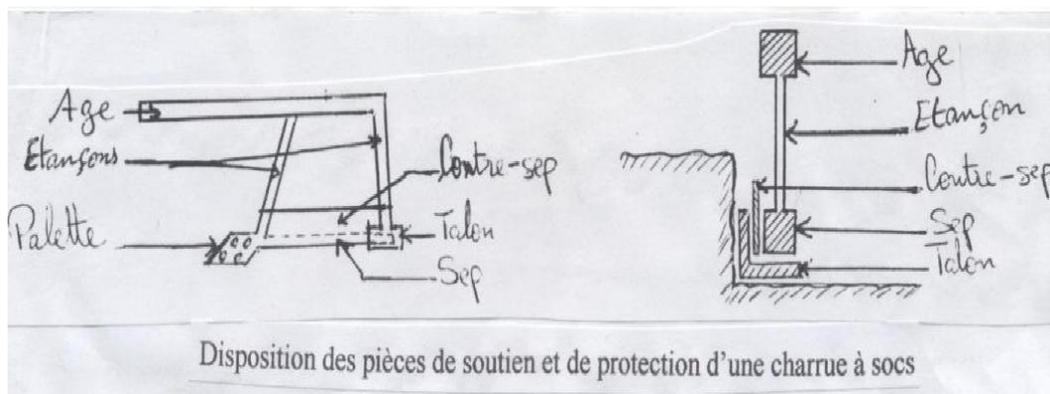
I. 1. 3. Pièces de protection :

I. 1. 3. 1. Le contre-sep :

C'est une lame d'acier placée sur le côté des étançons et du sep pour les protéger de l'usure consécutive des frottements contre la muraille.

I. 1. 3. 2. Le talon :

Pièce d'usure placée à la partie arrière du sep ou du contre-sep pour éviter leur usure prématurée.



I. 2. Réglages :

I. 2. 1. Réglage de la profondeur du labour :

Il est toujours obtenu par variation de la distance au sol de la partie avant de l'âge, ce qui a pour effet de faire varier l'angle d'entrure. On augmente la profondeur si on baisse l'âge et réciproquement.

- Sur une charrue traînée, un levier ou un vérin fait varier la position de la roue de jauge (de guéret) et par conséquent la hauteur de l'age.
- Sur une charrue portée, ce réglage est obtenu par la position en hauteur des bras de relevage contrôlés par le système hydraulique du tracteur.

I. 2. 2. Réglage de la largeur de travail :

Le seul réglage que l'utilisateur pratique couramment concerne la largeur de la première raie qui est égale à la distance entre l'intérieur du pneu du tracteur et la pointe du soc.

I. 2. 3. Réglage du dévers de pointe :

Ce réglage doit compléter le réglage de largeur sans s'y substituer. Le dévers de pointe peut être considéré comme un changement d'orientation des ages par rapport à la direction. Il entraîne la charrue à travailler plus à droite ou plus à gauche selon les cas. Le déport obtenu par dévers de pointe ne doit jamais excéder 8 à 10cm.

I. 2. 4. Réglage d'inclinaison ou d'aplomb :

L'aplomb d'une charrue est correct lorsque les étançons sont perpendiculaires au terrain travaillé. Cette position varie avec la profondeur du labour et doit pouvoir être modifiée. Ce réglage est toujours obtenu par pivotement de l'age autour de son axe longitudinal. Lorsqu'il s'agit d'une charrue polysoc, le pivotement a lieu autour d'un axe médian. Les défauts d'aplomb entraînent une variation de profondeur entre les corps de droite et de gauche ce qui engendre un labour irrégulier appelé souvent « jumelé ».

I. 2. 5. Réglage du bordoyage :

Ce réglage intéresse généralement les charrues traînées, il est obtenu par déplacement latéral du point d'attelage. Il est correct lorsque la roue de raie de la charrue passe régulièrement dans l'angle formé par la muraille et le fond de raie. Un défaut de réglage entraîne la roue au milieu de raie ou cherche à la faire monter sur le guéret.

I. 2. 6. Réglage du talonnage :

Le talonnage correct d'une charrue est visible grâce à la trace laissée par le talon dans le fond de raie, elle doit être marquée sans exagération. Une charrue qui talonne trop manque de stabilité sur le train avant qui a donc tendance à osciller de droite à gauche et inversement. Un mauvais réglage de talonnage conduit toujours à une différence de profondeur entre les corps, et donc un labour irrégulier.

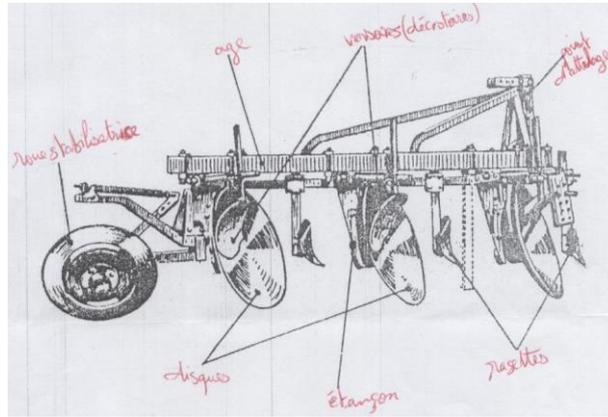
I. 2. 7. Réglage du coudre :

Ce réglage est correct lorsque la muraille du labour est parfaitement neutre et verticale. Lorsque le coudre est trop entré, la muraille est irrégulière et dentée. Lorsqu'il est trop sorti, la muraille est en forme d'escalier.

I. 2. 8. Réglage de la rasette :

Les rasettes insuffisamment réglées rendent difficile l'enfouissement des mauvaises herbes et les chaumes. Le réglage trop profond donne des sillons mal épaulés. En terre très dure, la rasette est supprimée.

II. Charrue à disques :



La charrue à disques peut être traînée, portée ou semi-portée. Mais la solution la plus adaptée est celle traînée à cause du poids élevé des disques. Elles sont à utiliser pour mise en état de culture, sur des terrains rocheux (pierreux) ou encombrés de racines. Elles sont aussi utilisées sur des terrains couverts de végétation et sur des terrains lourds et compacts.

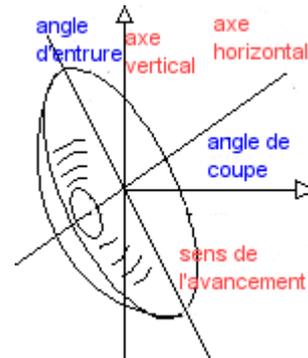
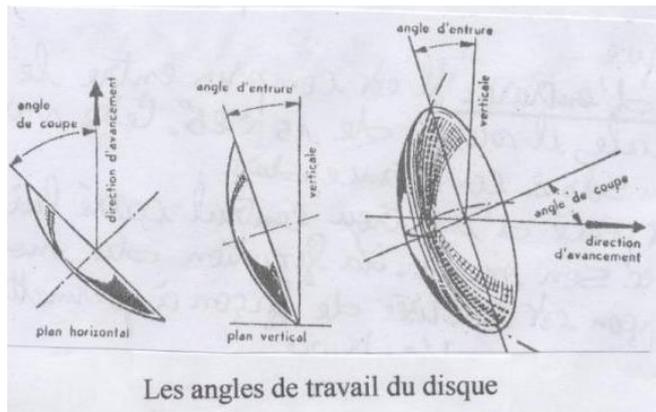
Concernant le principe de travail, l'ensemble des pièces travaillantes d'une charrue à socs est remplacé ici par un disque unique dont le montage en double obliquité lui permet de découper la bande de terre selon une section elliptique puis de la retourner.

I. 1. Constitution :

I. 1. 1. Pièces travaillantes :

I. 1. 1. 1. Le disque :

Il a la forme générale d'une calotte sphérique. Il doit présenter une grande dureté lui permettant de résister à l'usure, et également assez de souplesse pour lui éviter de casser. Son diamètre varie habituellement de 610 à 815mm et son épaisseur de 6 à 75mm. La fixation du moyeu du disque sur son étançon est réalisée de façon à permettre d'agir sur l'angle d'attaque ou d'entrure. La position du disque est déterminée par deux angles :



- **Angle d'attaque** : appelé aussi angle de coupe. Il est compris entre la direction d'avancement et le plan du disque. Sa valeur varie de 30° à 55° .
- **Angle d'entrure** : il est compris entre le plan du disque et la verticale, variant de 15° à 25° . Cette variation favorise la pénétration en sols à consistance dure.

I. 1. 1. 2. Le décrotoir :

Appelé aussi versoir ou rasette décrotoiseuse. C'est une pièce incurvée qui empêche la terre de coller sur le disque, et faire ainsi un tour complet avec lui ce qui permet d'améliorer le retournement et d'éviter les bourrages.

I. 1. 1. 3. La rasette :

Elle est comparable à celle utilisée sur la charrue à socs et a le même rôle.

I. 1. 2. Pièces de soutien :

I. 1. 2. 1. L'age :

Comparable à celui des charrues à socs. Il peut être commun placé obliquement ou multiple.

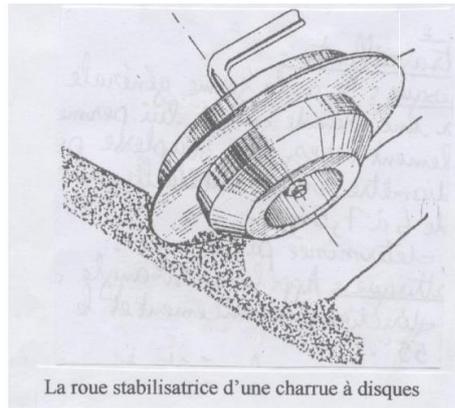
I. 1. 2. 2. L'étauçon :

Il assure la jonction entre le disque et l'age. Sa position sur l'age peut être fixe ou réglable en écartement, et quelquefois en orientation (action sur l'angle d'attaque et l'angle d'entrure).

I. 1. 2. 3. Roue stabilisatrice :

Elle est placée à l'arrière de la charrue. Son rôle est d'arc-bouter la charrue qui a toujours tendance à s'écarter du labour sous l'effet des forces résultantes dues à l'obliquité des disques.

Elle roule dans la dernière raie et sa position est oblique dans le sens inverse des disques pour mieux résister au glissement latéral.



II. 2. Réglages :

II. 2. 1. Réglage de la profondeur :

Cette variation peut être obtenue :

- **Par réglage de l'angle d'entrure** : sa diminution entraîne une augmentation de la profondeur. Par contre, on ne peut pas trop l'augmenter sous peine de voir apparaître des bourrages.
- **Par déplacement latéral du bâti** : ce déplacement doit se faire horizontalement, ce qui oblige d'agir simultanément sur l'avant et l'arrière de la charrue.

Sur les charrues traînées le réglage de la profondeur est obtenu par déplacement en hauteur des roues, et sur les charrues portées ou semi-portées par l'action du relevage du tracteur.

II. 2. 2. Réglage de la largeur :

Ce réglage peut être obtenu par variation de l'angle d'attaque ou parfois par déplacement des étauçons sur l'axe.

II. 2. 3. Réglages secondaires :

Ces réglages comportent : le bordoyage, le talonnage et l'aplomb. Ils sont strictement comparables à ceux des charrues à socs à l'exception du bordoyage pour lequel le déplacement latéral du point d'attelage est accompagné d'une orientation correspondante de la roue de raie.

MATERIELS DE REPRISE DE LABOUR

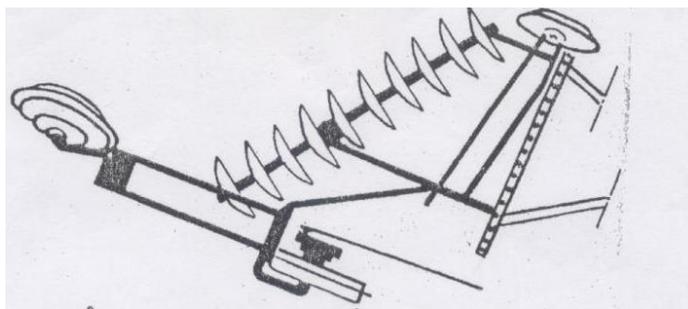
I. Les déchaumeuses :

Elles sont destinées à effectuer des labours très superficiels, favorisant la levée des mauvaises herbes pour aider à leur destruction ultérieurement. Elles peuvent être à socs ou à disques.

Déchaumeuse à disques :

I. 1. Constitution :

Les disques d'une déchaumeuse sont analogues à ceux d'une charrue à disques. Leur diamètre varie de 560 à 610mm avec une épaisseur de 4 à 6mm. Leur particularité essentielle est de posséder un angle d'entrure nul donnant ainsi la possibilité de les monter sur le même arbre.



Pour les modèles portés, le bâti se limite en un cadre supportant l'arbre des disques et recevant les trois points d'attelage. Ils sont munis aussi d'une roue stabilisatrice destinée à équilibrer la poussée axiale des disques. Pour les modèles traînés, le bâti est comparable à celui d'une charrue à disques. Il est généralement muni de trois roues lourdes et tranchantes dont deux sont obliques pour résister à la poussée radiale des disques.

I. 2. Réglages :

- Le réglage de la profondeur est obtenu sur les modèles portés par une roue limitant l'entrure, ou directement par la position du bras d'attelage. Et sur les modèles traînés par rapprochement des disques du sol ou par modification de l'angle d'attaque en changeant l'orientation des roues. Lorsque la pénétration est insuffisante, on peut utiliser des masses d'alourdissement.

- Le bordoyage est généralement réglé par déformation du triangle d'attelage.

II. Cultivateurs à disques :

Les cultivateurs à disques assurent un bon émiettement du sol ainsi qu'une bonne destruction des adventices. Ils peuvent être utilisés pour le déchaumage ou l'enfouissement d'engrais vert, mais la pénétration est souvent difficile en conditions sèches.

II. 1. Constitution :

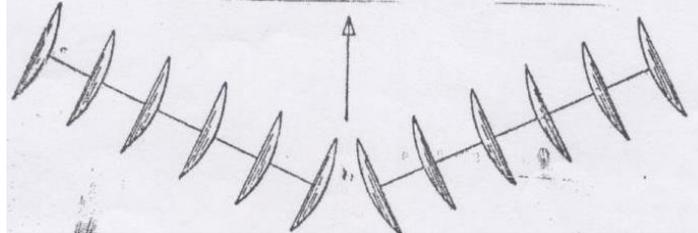
Les pièces travaillantes sont des disques analogues à ceux d'une déchaumeuse, dont le diamètre est plus petit (450 à 610mm). L'angle d'entrure est nul et l'angle d'attaque varie selon le type de réglage utilisé. Ces appareils utilisent de 2 à 4 éléments constitués chacun d'un ensemble de 4 à 15 disques montés sur le même arbre. Le montage des disques sur ces éléments à lieu en inversant la concavité de façon à équilibrer les poussées latérales ce qui permet d'économiser le montage de roue de travail.

Les cultivateurs à disques sont presque toujours munis de cadres en cornières destinées à recevoir des surcharges agissant sur la profondeur.

II. 2. Différents types : Selon la disposition des éléments on distingue :

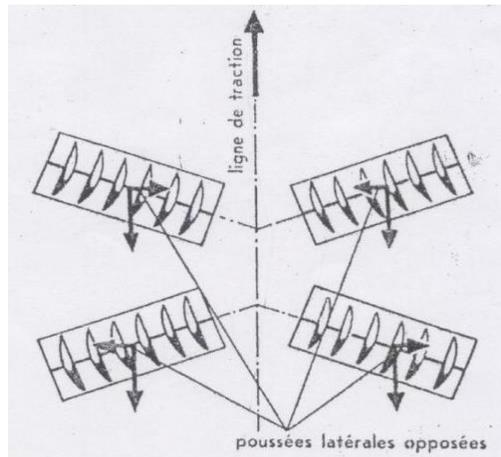
II. 2. 1. Cultivateur simple :

Le pulvérisateur simple est constitué de deux trains de disques disposés en V ouvert du côté devant, la ligne de traction est centrée sur la pointe du V. le diamètre des disques varie de 450 à 560mm, et leur nombre de 8 à 20. L'inconvénient de cette disposition est de laisser la petite largeur de pointe de V non travaillée, ce qui oblige souvent à monter une dent de cultivateur à cet endroit.



II. 2. 2. Cultivateur double ou Tandem :

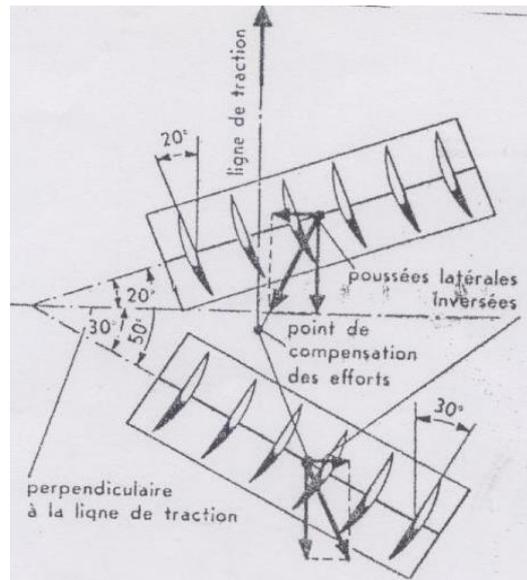
Ils sont constitués par l'association de deux pulvérisateurs simples inversés. Le sol est donc travaillé deux fois : le premier train de disques l'inverse sur un côté et le deuxième le ramène en place. Le nombre de disques varie de 16 à 40.



II. 2. 3. Cultivateur OFFSET ou Cover-Crop :

Ces appareils comportent deux trains de disques placés l'un derrière l'autre, ce qui permet de travailler la terre deux fois. Pour équilibrer les poussées latérales de chaque train de disques on doit utiliser un angle d'attaque supérieur pour l'élément arrière qui travaille une terre déjà ameublie donnant moins de poussée. Le diamètre des disques varie de 510 à 810mm et leur nombre de 8 à 44. le poids élevé de ces appareils leur permet de remplacer une déchaumeuse.

Par ailleurs, ils ne laissent aucune partie centrale non travaillée comme le modèle simple ou Tandem.



II. 3. Réglages :

- La profondeur maximum est essentiellement liée au diamètre des disques utilisés. Pour un diamètre de disques donné, la profondeur varie avec la poids des appareils éventuellement alourdis par les charges disposées dans les cadres prévus pour cet usage. Sur les appareils munis de roues porteuses, il est également possible de limiter l'entrure par réglage de leur hauteur.
- Le bordoyage est obtenu par déplacement latéral du point d'attelage.

III. Cultivateurs à dents :

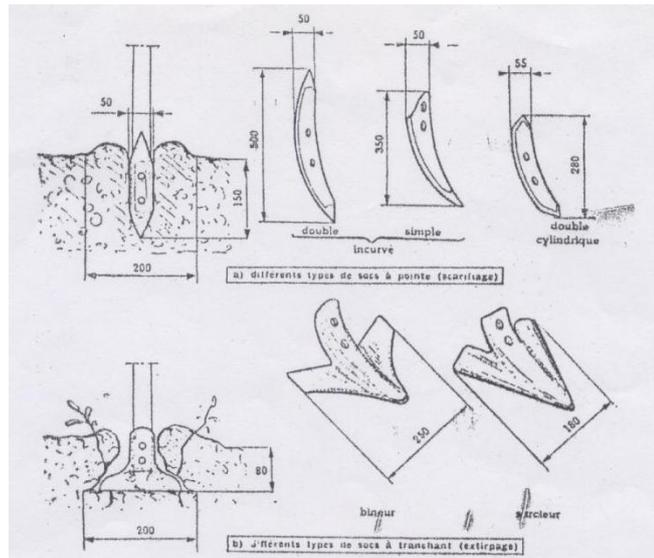
Ces appareils permettent un foisonnement profond du sol et sa bonne aération, en plus de la destruction efficace des adventices et l'émiettement des mottes. Ils permettent aussi l'incorporation superficielle d'engrais et d'herbe. Les cultivateurs à dents possèdent seuls la propriété de ne pas tasser le sol en profondeur.

III. 1. Les socs :

Différentes formes de socs peuvent être montés sur les mêmes étançons en fonction du travail à effectuer.

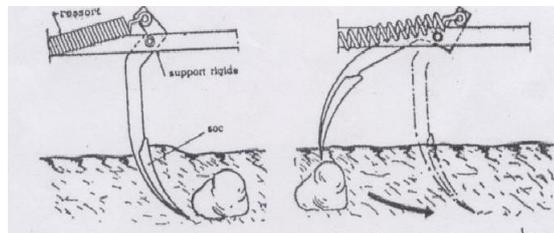
III. 1. 1. Soc de scarifiage : Le scarifiage consiste à ameublir le sol profondément sans chercher à beaucoup travailler la surface ni à détruire les mauvaises herbes. Ces socs sont généralement longs et étroits avec souvent deux extrémités symétriques doublant la durée d'utilisation par réversibilité.

III. 1. 2. Soc d'extirpage : L'extirpage vise essentiellement la destruction des mauvaises herbes accompagnée d'un ameublissement de surface. Le soc est donc large et d'entrure faible puisqu'il travaille en position presque horizontale à une profondeur juste nécessaire pour couper les adventices.

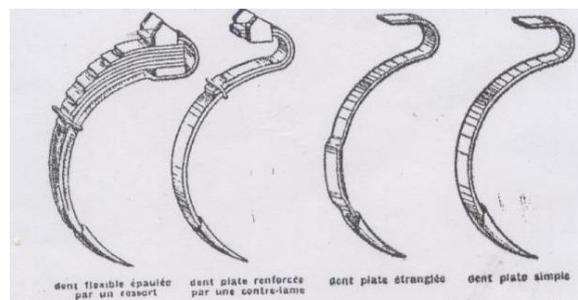


III. 2. Différents types d'étauçons :

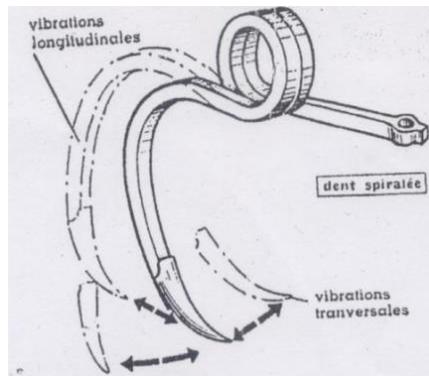
III. 2. 1. Etauçon rigide associé à un ressort : L'étauçon est maintenu à sa place par un ou deux ressorts spiraux. Cette solution permet à l'étauçon de travailler en toute sécurité en s'effaçant devant un obstacle imprévu. Une autre réalisation consiste à utiliser de puissants ressorts en lame maintenant de fortes dents rigides destinées au travail très profond.



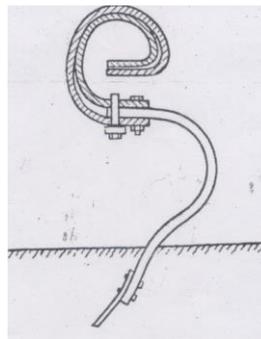
III. 2. 2. Etauçon flexible en acier plat : Ces étauçons sont souples sur toute leur longueur grâce à leur minceur et la nature d'acier. Les outils munis de ce genre d'étauçons s'appellent souvent Cultivateurs Canadiens ou Vibroculteurs. Ils réalisent un travail moyennement profond dont l'ameublissement est poussé et les bourrages peu fréquents grâce à la grande flexibilité des étauçons animés d'importantes vibrations dans le sol.



III. 2. 3. Étaçon boucle an acier carré : Cette forme permet d'associer les grandes qualités de flexibilité due au double enroulement de la dent. Les cultivateurs qui en sont équipés sont adaptés aux terrains secs et durs et au travail profond.



III. 2. 4. Étaçon contre-coudé : Cet étaçon est très flexible et permet d'entreprendre des travaux légers. Sa forme est caractérisée par le contre-coude formé au niveau du sol qui oblige les mauvaises herbes à remonter en surface où elles se dessèchent, tout en évitant les bourrages et les excessives remontées de terre humide.



III. 3. Bâti :

Le bâti est toujours réalisé de façon à permettre une disposition des dents limitant le plus possible le bourrage, en écartant sur plusieurs traverses les dents voisines par leur travail. Les appareils munis d'une seule traverse sont équipés alternativement de dents longues et courtes pour obtenir le décalage voulu. L'écartement entre dents est d'environ 18 à 20cm, mais il peut descendre jusqu'à 10cm sur certains vibroculteurs de finition.

III. 4. Réglages :

- Les appareils portés sont réglés en profondeur par la position des bras de relevage ou grâce à des roues limitatrices de profondeur que l'on peut monter ou descendre.
- Certains appareils sont munis de herse à cage roulante. La profondeur des éléments de cultivateur est contrôlée par une chaîne reliée à la herse et fixée sur un étrier de position variable. Cette disposition exige l'utilisation de relevage en position flottante et permet un excellent contrôle

de la profondeur tout en assurant un bon tassement du lit de semence grâce au poids transféré sur les herse à cages roulantes.

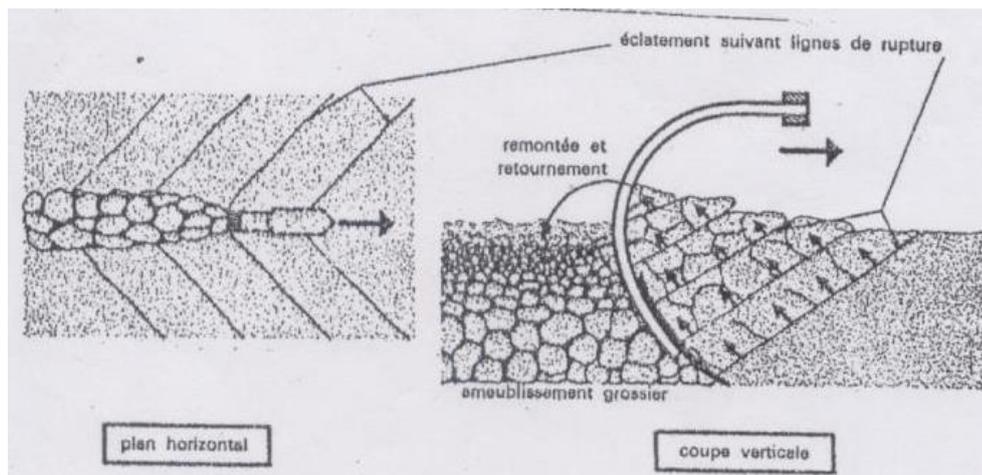
IV. Les chisels :

Le chisel peut être considéré comme un cultivateur à dents géant. Son utilisation superficielle ne permet pas de différencier son action de celle du cultivateur à dents. Mais son utilisation spécifique implique une profondeur de travail minimum de 20 à 30cm, ainsi qu'une vitesse de travail d'au moins 8 Km/h. cette double condition conduit à un éclatement général du sol.

IV.1. Constitution :

IV.1.1. LE BATI :

Selon les modèles, il comporte deux ou trois traverses de forte section sur les quelles sont fixés les étauçons, les axes d'attelage inférieurs et la potence de support de la barre de poussée. En cas d'insuffisance de réponse du relevage hydraulique, il est possible de munir l'appareil de roue de contrôle de la profondeur.

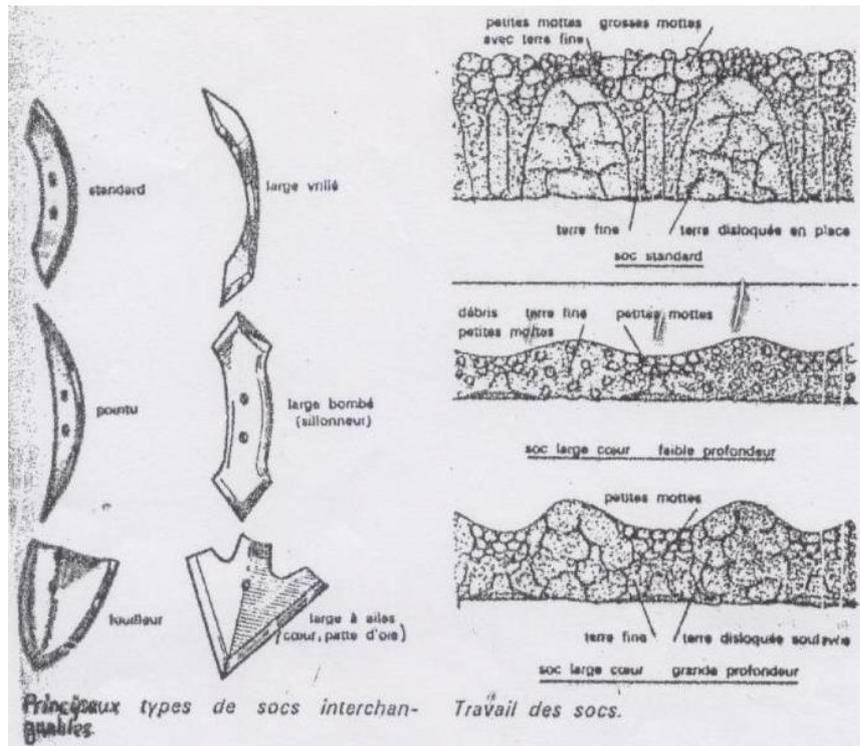


IV.1.2. Les étauçons :

Ils sont répartis judicieusement sur les traverses pour éviter les bourrages. Leurs traces au sol sont distantes de 30 à 40cm. Leur hauteur est telle que le dégagement sous le bâti varie de 65 à 100cm. Leur forme générale la plus courante est proche du demi-cercle.

IV.1.3. Les socs :

Plusieurs formes peuvent être montées selon les cas.



- **Socs droits réversibles** : utilisables pour les travaux profonds en terrain sec.
- **Socs vrillés** : leur utilisation est superficielle pour profiter du retournement local du sol entraînant un léger billonnage de la surface et une bonne incorporation des résidus de récolte.
- **Socs en patte d'oie** : sont réservés aux travaux de destruction des adventices en terrain déjà ameubli.

1.1. V. Cultivateurs rotatifs :

Ces appareils sont connus aussi sous le nom de « Fraises ». La partie travaillante est constituée d'un arbre horizontal animé d'une vitesse de rotation variable de 130 à 230 tours/mn, empruntée à la prise de force du tracteur sur lequel sont enfilés un certain nombre de flasques portant généralement chacune 6 couteaux (ou bêches) de formes variables, et séparées entre elles par des entretoises les maintenant à une distance de 25cm environ.

Ces appareils peuvent être portés ou semi-portés.

V. 1. Différentes formes de bêches :

- **Bêche droite** : On l'utilise sur terrains propres et relativement légers ou pour détruire les mottes sèches.
- **Bêche coudée** : Elle réalise un bon ameublissement en tous terrains en permettant d'enfouir facilement les débris végétaux.
- **Bêche hélicoïdale** : Elle s'adapte assez bien pour différents types de travaux.

• **Bêche coudée double** : Ce modèle est utilisé pour des travaux de débroussaillage ou de défrichage.

• **Bêche en U** : Cette forme est d'une grande solidité, ce qui permet le travail dans des terrains durs et secs.

V. 2. Réglages :

• **La profondeur** : Elle varie de 0 à 25cm, le réglage est réalisé en faisant varier la hauteur des roues ou des patins.

• **L'ameublissement** : La finesse de pulvérisation de la terre dépend essentiellement :

• De la vitesse d'avancement du tracteur à la quelle l'ameublissement est inversement proportionnel.

• De la vitesse de rotation des outils à la quelle l'ameublissement est proportionnel.

En conditions particulièrement difficiles, il est possible d'envisager deux passages et croiser si la forme de la pièce le permet.

V. 3. Sécurité : Lorsque la transmission du mouvement comporte un embrayage de sécurité, il convient de le régler très progressivement pour qu'il puisse patiner à la moindre surcharge.



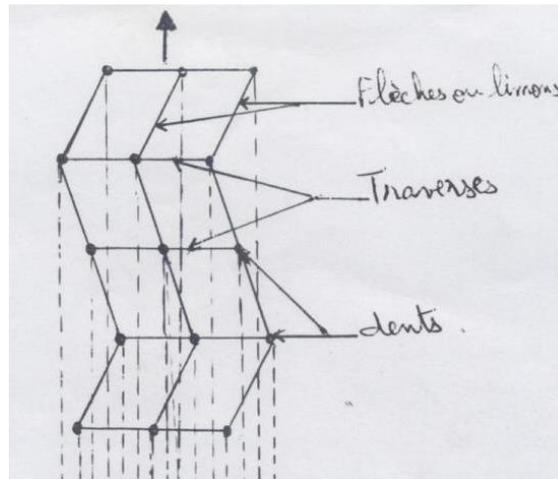
MATERIEL DE TRAVAIL SUPERFICIEL DU SOL

I. Les herses :

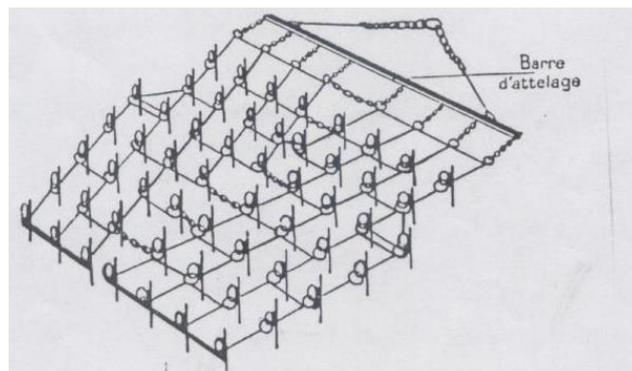
Les herses travaillent à de faibles profondeurs en vue de l'obtention d'un ameublissement de surface, un nivellement du terrain, et une destruction des mauvaises herbes lorsqu'elles sont assez jeunes. Elles travaillent des largeurs de 2 à 5m pour les solutions portées et atteignent des largeurs de 15m pour les solutions traînées. Elles peuvent être différenciées par la forme de leurs pièces travaillantes ainsi que par le mouvement éventuel que l'on peut leur communiquer.

1. Herses traînantes à dents fixes :

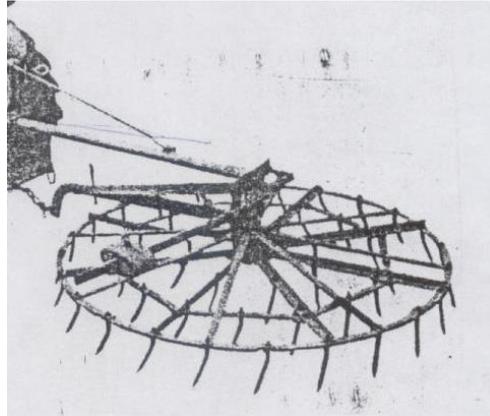
- **Herse en Z** : C'est la forme la plus courante, elle est généralement constituée d'un nombre variable d'éléments appelés « compartiments » ; chacun d'eux comprend généralement 5 traverses et 3 à 5 flèches. Les dents étant fixées à chaque intersection, un compartiment peut avoir 15 à 25 dents. Chaque dent est disposée généralement une arête en avant de telle façon qu'elle ne soit jamais sur la même traverse que celle qui travaille la ligne contiguë pour éviter les bourrages. chaque compartiment est relié à son voisin à l'avant par la barre d'attelage et à l'arrière par une barre d'équilibre ou d'accouplement.



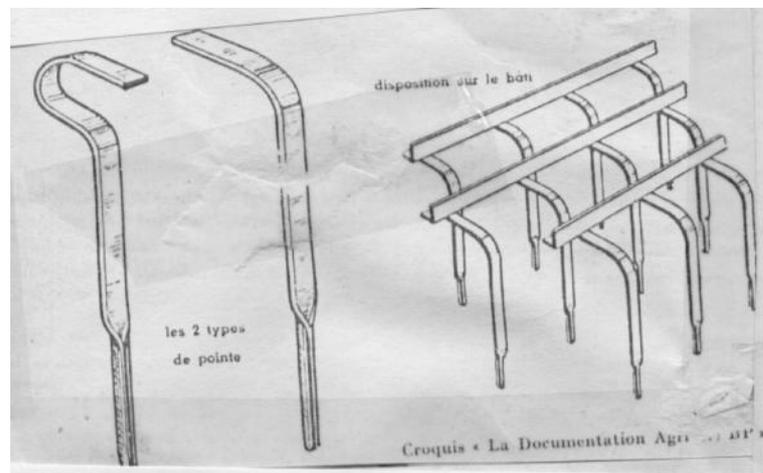
- **Herse souple** : Ce modèle ne comporte pas de bâti différencié car ce sont les dents qui sont reliées les unes aux autres pour former un véritable tapis souple. Cette disposition permet de réaliser des herse très légères intéressantes pour travail très superficiel, désherbage d'une culture en place, travailler des billons sans les aplanir...etc.



- **Herse rotative** : Il s'agit d'un modèle circulaire suspendu à une potence adaptée au relevage trois points d'un tracteur. Elle est placée légèrement obliquement par rapport au sol, elle entre automatiquement en rotation en avançant aidée en cela par un contrepoids réglable. Ce type de herse peut être intéressant dans les cultures arbustives. Par ailleurs, la rotation permet d'éviter les bourrages.



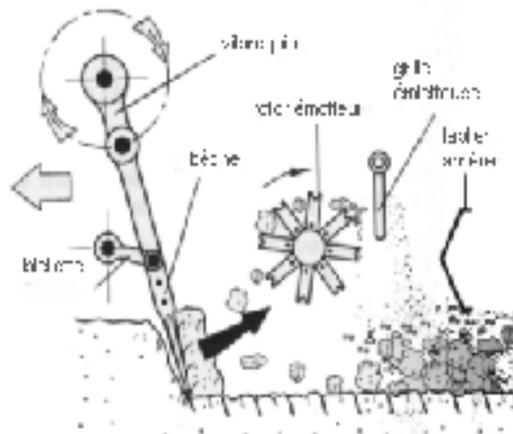
- **Herse vibrante à dents souples** : Les dents fines et très souples de 30 à 40cm de longueur sont réparties en quinconce sur deux ou trois cornières perpendiculaires à la direction d'avancement. Ces instruments réalisent un très bon ameublissement superficiel grâce aux très importantes vibrations des dents. Par ailleurs, ils peuvent réaliser des binages légers.



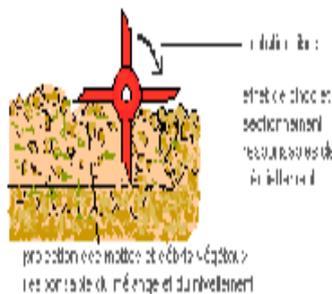
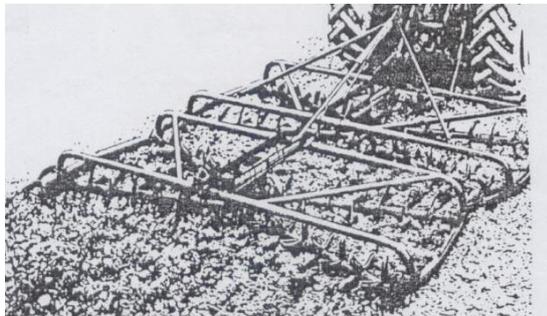
2. Herses à éléments roulants :

Cette catégorie englobe les appareils munis d'éléments entrant en rotation du fait de la traction.

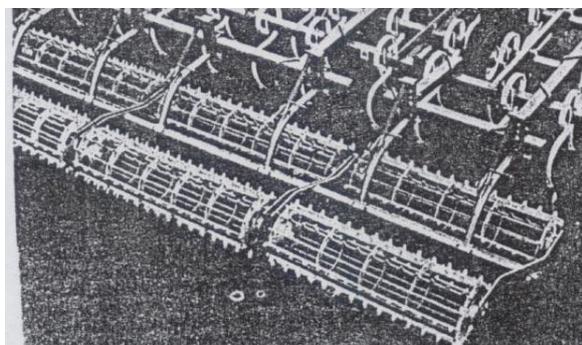
- **Herse à étoile roulante** : Constituée par un ou deux arbres carrés disposés transversalement, sur lesquels sont enfilés des éléments en fonte à 5 pointes disposées en hélice pour régulariser le travail. Cet appareil réalise un bon ameublissement de surface même en terrain dur, mais provoque un tassement du sol plus important que celui des herses.



• **Herses à bèches roulantes** : les parties travaillantes sont constituées par des étoiles à quatre branches concaves montées sur des arbres disposés obliquement. le nombre d'arbres successifs (2à4) détermine l'intensité du travail final. Cet appareil présente de bonnes qualités de pénétration, il permet d'effectuer un très bon ameublissement de surface à vitesse assez élevée.



• **Herse à cage roulante** : les éléments de travail sont des cages cylindriques dont l'extérieur est muni d'aspérités. Le mouvement de ces cages permet de figurer l'ameublissement superficiel et de niveler la surface du sol. Ces qualités ne sont véritablement mises en valeur qu'en terrain pré-ameubli c'est pourquoi ces appareils sont le plus souvent associés à des cultivateurs à dents flexibles dont ils complètent l'action de préparation d'un lit de semence.

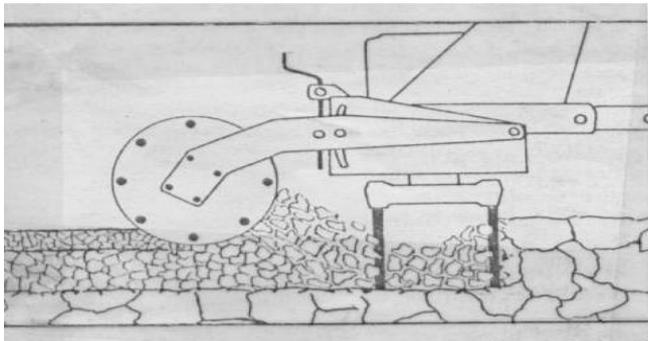


3. Herses commandées :

Ces herses empruntent leur mouvement à la prise de force du tracteur. Selon le mouvement communiqué aux dents, on peut distinguer deux grandes familles d'outils :

• **Herses alternatives** : elles sont pourvues de dents verticales de 20 à 30cm fixées sur deux ou quatre barres disposées perpendiculairement au sens d'avancement et animées de mouvement de translation latéral. La combinaison de ces mouvements et de l'avancement aboutit à un ameublissement poussé de la surface. Avec ces appareils il y a risque de formation d'une semelle de travail en terre humide.

• **Herses rotative** : les éléments tournant autour d'axes verticaux comportent le plus souvent deux dents et les rotors voisins tournent en sens inverse. Un rouleau cage disposé à l'arrière complète le travail en nivelant et en rappuyant la terre tout en permettant de mieux contrôler la profondeur.



II. Les bineuses :

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.



III. Les rouleaux :

Ces instruments sont utilisés pour tasser le sol ou l'ameublir superficiellement par destruction des mottes. Tous les rouleaux permettent d'obtenir cette double action, mais chaque modèle présente une dominante orientée vers l'une ou l'autre.

1. **Rouleau lisse** : il est constitué d'un certain nombre d'éléments (ou billes) permettant de tourner sans creuser le sol. Chaque élément a un diamètre de 40 à 60cm et une longueur de 50cm en

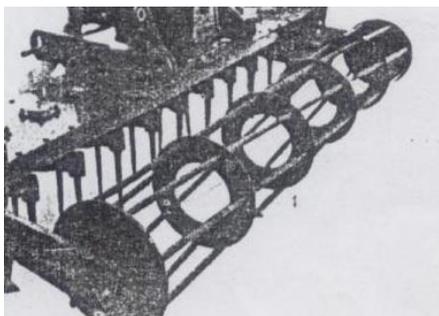
général. Ces appareils présentent l'inconvénient de souvent provoquer la formation d'une croûte continue à la surface du sol, ce qui gêne la levée en période sèche.



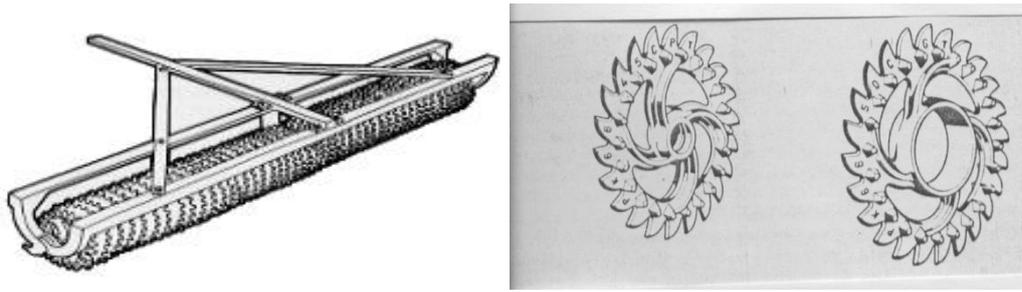
2. Rouleau ondulé : sa structure et son poids sont analogues au rouleau lisse. La différence réside dans l'utilisation de tôle fortement nervurée. Cette conception fragilise la croûte formée et la rend plus facile à traverser par les plantes qui lèvent.



3. Rouleau squelette : il est constitué d'une série d'éléments étroits non jointifs entre eux pour éviter le croûtage continu du sol et détruire mieux les mottes. Ce modèle a tendance à plus bourrer que les autres et son poids est un peu supérieur.



4. Rouleau croskill : formé d'une succession d'éléments en fonte montés les uns à côté des autres sur un même arbre. Chaque élément est cranté à sa périphérie et sur ses faces latérales pour mieux détruire les mottes. Il existe toujours deux diamètres différents d'environ 5cm et alternés sur le même arbre ; les plus grands ont un palier central beaucoup plus grand que le diamètre de l'arbre alors que les plus petits comportent un palier normal. Cette disposition permet aux petits disques de rouler normalement alors que les grands avancent d'une façon saccadée en créant un frottement qui interdit tout bourrage. Le croskill est le brise motte le plus efficace mais le plus lourds, il n'est utilisé qu'à la préparation du sol.



5. Rouleau étoile : Il est constitué 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.



6. Rouleau cultipacker : Il est aussi appelé rouleau rayonneur, il comporte généralement deux arbres travaillant l'un derrière l'autre. Les éléments comportent une arrête vive reliée au cylindre de base par une partie incurvée permettant d'étirer les mottes. Les disques avant ont un diamètre plus grand que les disques arrière. Ces rouleaux réalisent un très bon ameublissement.



Travail du sol minimum :

Ce système est limité au travail superficiel du sol visant à préparer le lit de semence sans ameublissement de sa profondeur.

Non travail du sol :

Ce concept assume que toutes les opérations de travail du sol, y compris la préparation du lit de semences et les mesures de désherbage mécaniques, sont éliminées. C'est seulement en adhérant strictement à ce principe que l'action positive de la faune du sol sera totalement exploitée. Ce système suppose une forte dépendance aux herbicides chimiques pour le désherbage et l'absence de toute opération d'ameublissement du sol.

Chapitre IV. MATERIELS DE FERTILISATION

Introduction :

La fertilisation vise à entretenir et à accroître le potentiel du sol, en apportant des engrais et des amendements. Les amendements sont utilisés pour entretenir ou pour corriger la structure physique du sol et sont généralement des produits minéraux (calcaire, marne, chaux agricole...etc.) Tandis que les engrais apportent au sol, et donc aux végétaux, les éléments chimiques indispensables à leurs développement (azote, acide phosphorique et potasse).

Les engrais peuvent être d'origine naturelle ou industrielle. Ceux dits naturels sont : les engrais verts, les fumiers et les lisiers. Quant aux engrais industriels, ils se présentent généralement sous la forme solide ou parfois pulvérulente (liquide).

Dans tous les cas, les matériels doivent présenter une résistance élevée à la corrosion, car les produits épandus sont généralement très agressifs. Les matières plastiques et l'acier inoxydable sont souvent utilisés.

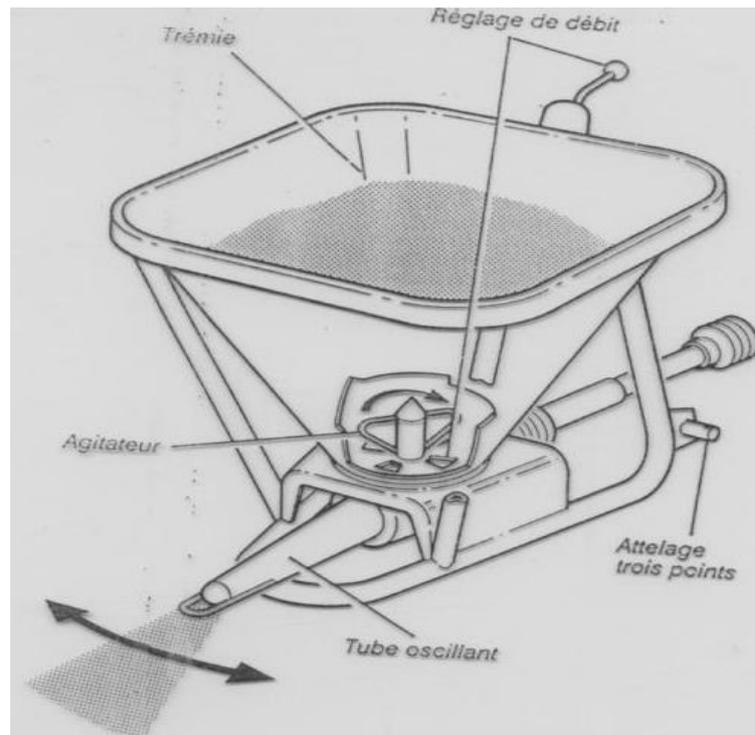
I. Les distributeurs d'engrais centrifuges :

Ces distributeurs très répandus sont portés ou semi-portés. Les appareils portés ont une capacité de 40 à 2000 litres et les semis-portés jusqu'à 10000 litres. Les largeurs d'épandage varient ainsi de 9 à 24 mètres, alors que certains appareils peuvent atteindre jusqu'à 30 mètres. Les distributeurs centrifuges sont soit à tube oscillant, soit à disques rotatifs.

I. 1. Distributeur centrifuge à tube oscillant :

L'épandage de l'engrais est assuré par un tube conique horizontal dont l'oscillation projette l'engrais en zigzag à l'arrière, dans l'axe de l'avancement. L'engrais contenu dans une trémie conique descend vers le tube oscillant par gravité. L'entraînement du mouvement du tube s'effectue par prise de force du tracteur.

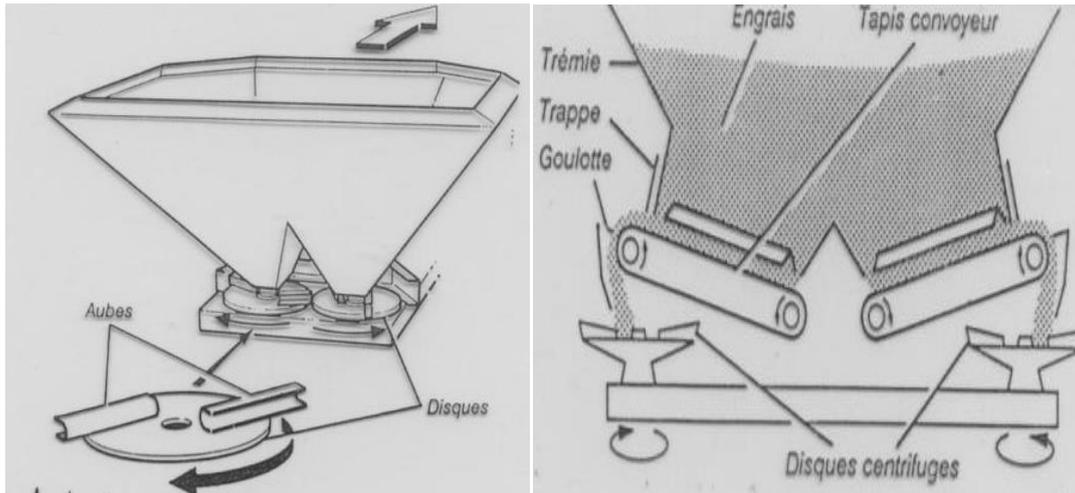
En fond de trémie, un agitateur entraîné par le mécanisme de distribution assure l'écoulement régulier de l'engrais au travers d'orifices réglables qui permettent d'adapter le débit. Ce réglage de débit est constitué de deux disques superposés, l'un fixe et l'autre mobile, qui comportent des ouvertures. La rotation du disque mobile, actionnée par un levier de commande, modifie les sections d'écoulement de l'engrais et donc, le débit.



I. 2. Distributeur centrifuge à disques rotatifs :

Ce type de matériel pourrait être à distribution gravitaire ou mécanique. Dans le cas d'une alimentation gravitaire, l'appareil comporte une trémie, un système de réglage de débit constitué de trappes réglables situées en amont des disques, et un ou deux disques à axes verticaux. Ces disques sont munis de palettes plus ou moins radiales qui éjectent l'engrais en arc de cercle derrière l'appareil. Dans les systèmes à deux disques, les vitesses de rotation sont généralement opposées.

L'alimentation mécanique est surtout utilisée sur les distributeurs de grosse capacité, pour lesquels la trémie ne peut se trouver au-dessus des disques. Dans ce cas, l'engrais est conduit par un convoyeur longitudinal vers deux bandes transporteuses latérales en caoutchouc qui alimente les disques. Le réglage du débit est obtenu par des trappes réglables situées en amont des bandes latérales, ou par modification de la vitesse du convoyeur longitudinal.



I.3. Les distributeurs pneumatiques :

Dans ce type de distribution, l'engrais extrait de la trémie est entraîné dans des tuyauteries par un flux d'air produit par une turbine jusqu'à des buses de répartition ou diffuseurs disposés sur une rampe transversale. Un distributeur d'engrais pneumatique comprend : une trémie, des doseurs latéraux, une turbine, des tuyauteries et des diffuseurs.

- **La trémie :** D'une capacité de 600 à 800 litres, elle est en forme de tronc de pyramide ou de tronc de cône pour les appareils portés. Elle est plus large et peut atteindre 5000 à 6000 litres pour les plus gros appareils.

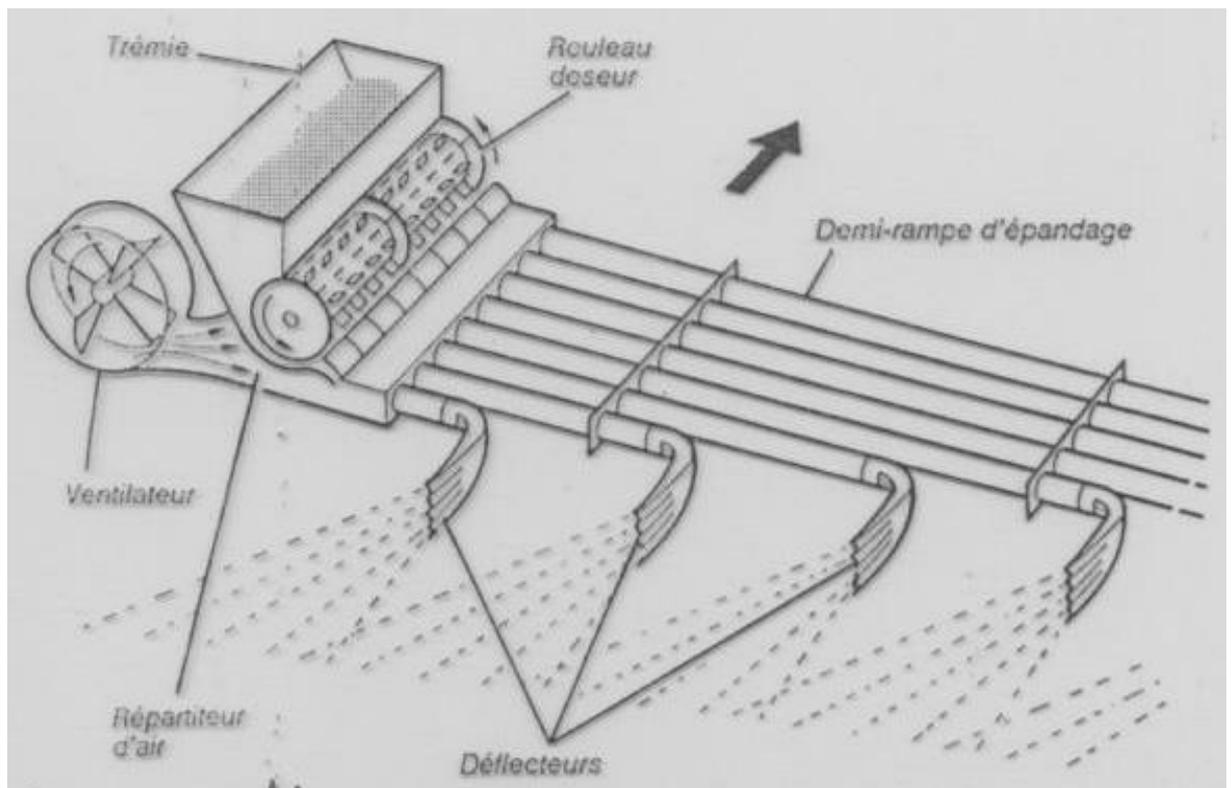
- **Les doseurs :** Les doseurs sont le plus souvent constitués de rouleaux à ergots ou à lamelles disposés en autant de rangées que de conduits à alimenter. Le réglage de débit est obtenu manuellement ou automatiquement (débit proportionnel à l'avancement) en faisant varier la vitesse de rotation de ces rouleaux grâce à une boîte de vitesse ou un variateur. L'entraînement est réalisé par la prise de force pour les appareils portés et par les roues sur les appareils semi-portés.

- **La turbine :** Elle est entraînée par la prise de force et crée un flux d'air qui entraîne l'engrais depuis les distributeurs jusqu'aux diffuseurs.

- **Les tuyauteries :** Disposés parallèlement sur une rampe horizontale, elles sont constituées de tubes rigides ou souples en matière plastique. Elles sont de longueurs différentes, chacune aboutissant à un diffuseur. La longueur de la rampe varie de 9 à 24 mètres.

- **Les diffuseurs :** Ce sont des orifices de sortie, régulièrement répartis sur la rampe, avec un espacement de 35cm à 1m. Ils sont constitués soit d'une palette nervurée formant un déflecteur, soit d'un petit rotor tournant sous l'influence du flux d'air. Leur rôle est de répartir l'engrais, avec un léger croisement, de façon à obtenir un épandage aussi uniforme que possible.

Les distributeurs d'engrais pneumatiques peuvent être utilisés en fertilisation localisée en adaptant aux diffuseurs des manchettes de localisation qui conduisent l'engrais au sol, à l'endroit souhaité.



II. Les épandeurs de fumier :

Le fumier a une composition et une densité variables : sa structure va du fumier pailleux au fumier compact difficile à déchiqeter. On en épand couramment de 30 à 70 tonnes/ha, ce qui impose la manutention de volumes importants.

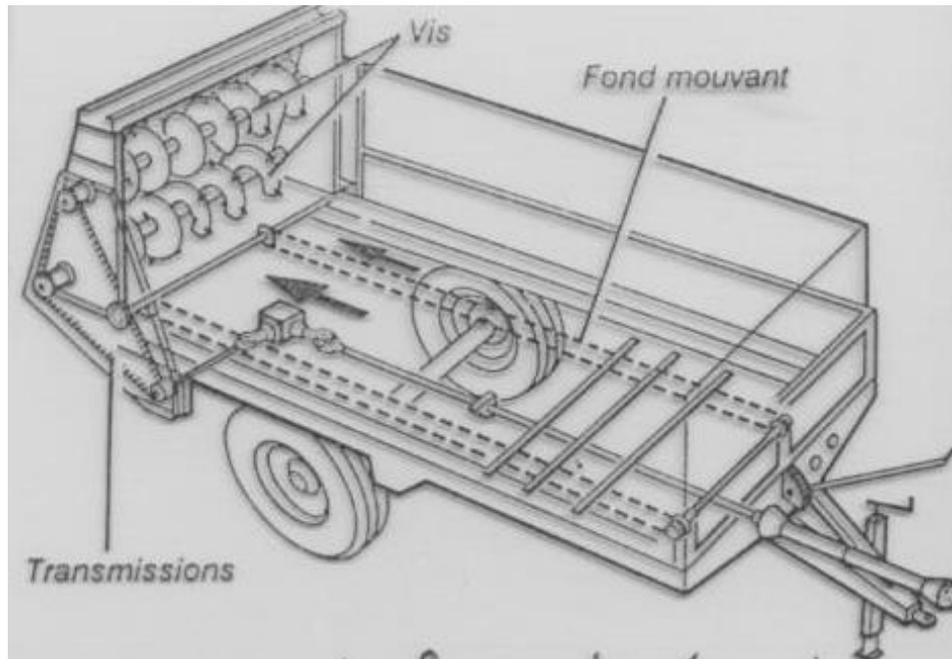
II. 1. Epandeur de fumier à épandage arrière :

Il s'agit d'une remorque semi-portée munie d'un fond mouvant et d'un organe rotatif de déchiqetage et d'épandage, entraîné par la prise de force du tracteur. Les capacités varient de 5 à 15m² et les organes d'épandage peuvent être démontés afin de pouvoir utiliser la remorque pour d'autres usages.

- **Fond mobile** : c'est un tablier mobile, généralement constitué de deux ou quatre chaînes longitudinales, reliées entre elles par des barrettes métalliques profilées qui se déplacent au fond de la remorque de l'avant vers l'arrière en entraînant le fumier. Le fond mouvant (très lentement) et le système d'épandage sont actionnés par prise de force du tracteur.

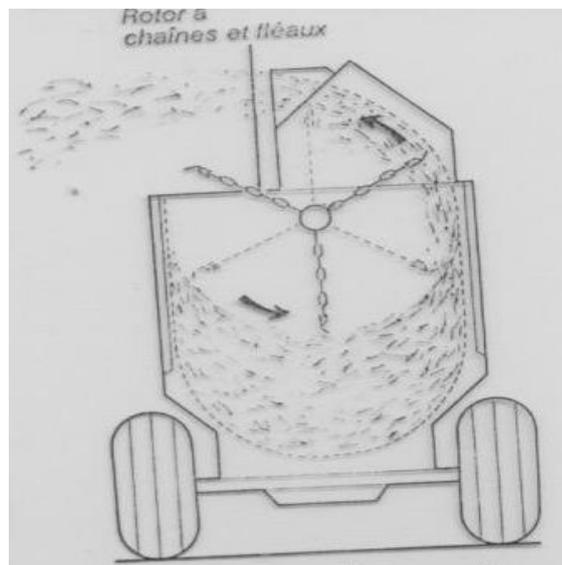
- **Organes d'épandage** : ces organes déchiqettent et épandent le fumier poussé par le fond mouvant. Ils se composent d'un ou plusieurs rotors horizontaux (trois au maximum) ou verticaux

(jusqu'à quatre) de formes très variées : hérissons (rotors munis de dents, de couteaux, de lames ou de bêche), vis hélicoïdales, ou disques crénelés montés obliquement sur un arbre, etc.



II. 2. Epandeur latéral à fléaux :

Il s'agit d'une remorque constituée d'un caisson étanche supportant un rotor longitudinal, muni de chaînes et de fléaux. Le rotor, animé par la prise de force, peut se déplacer verticalement au-dessus du caisson, afin de permettre une attaque progressive des fléaux qui projettent le fumier sur le côté, grâce à un déflecteur supérieur.



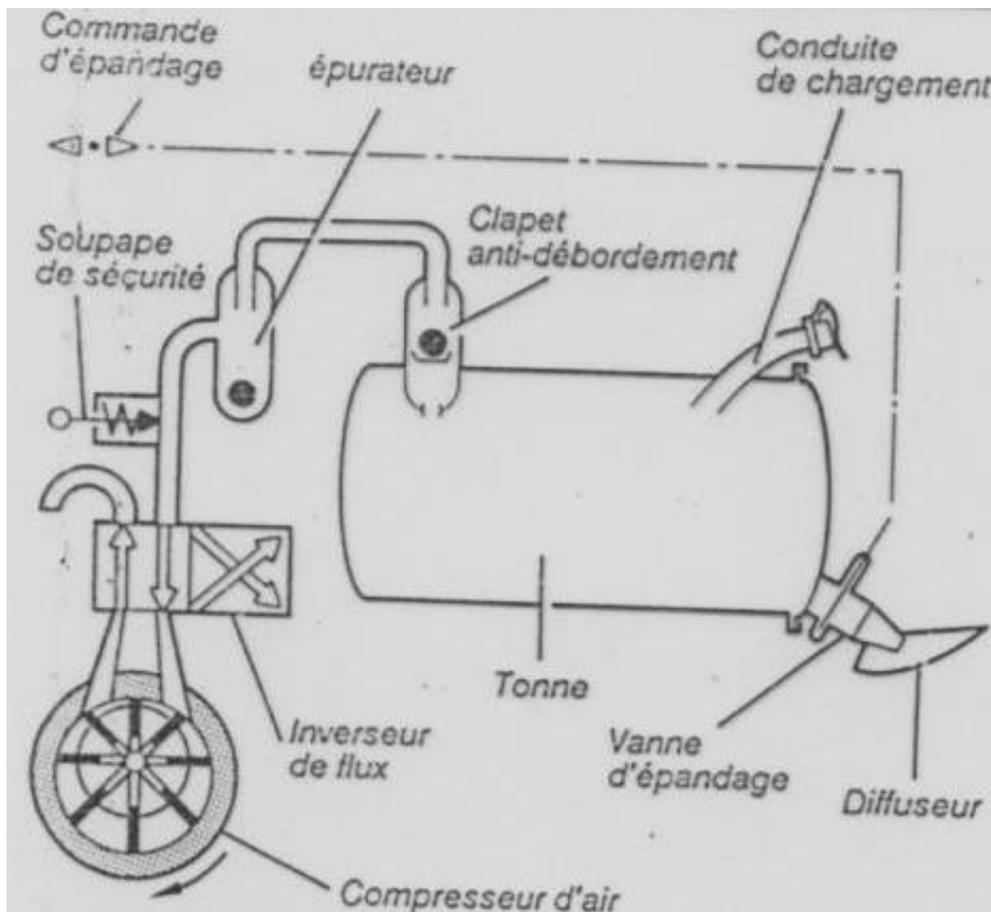
III. Epandeur de lisier :

Appelé aussi « tonne à lisier », ce matériel semi-porté est constitué d'une citerne montée sur un châssis à un ou deux essieux, d'un compresseur pneumatique qui fournit l'énergie nécessaire au chargement et à l'épandage, et d'un organe d'épandage.

• **La citerne** : elle est d'une capacité de 2 à 10m³, elle est réalisée en acier galvanisé pour résister à la corrosion. La partie arrière est rapportée par de solides boulons et des charnières, afin de permettre le nettoyage et l'élimination des dépôts.

• **Le compresseur pneumatique** : il s'agit d'un compresseur rotatif entraîné par la prise de force du tracteur. Un système de vanne d'inversion permet, au moment de chargement, de raccorder l'aspiration du compresseur avec l'intérieur de la tonne. La dépression ainsi produite permet d'aspirer le lisier dans la fosse à l'aide d'un tuyau de remplissage de gros diamètre. Pour l'épandage, l'opérateur inverse le flux du compresseur qui refoule l'air dans la tonne, afin d'expulser le lisier par une vanne d'épandage commandée à distance depuis le poste de conduite du tracteur. Un système anti-débordement à clapets évite toute aspiration de lisier par le compresseur. Par ailleurs, un limiteur de pression et de dépression d'air protège l'installation contre les surpressions et les risques d'éclatement.

• **Les organes d'épandage** : l'épandage du lisier s'effectue le plus souvent par aspersion ou parfois par enfouissement. Dans le cas d'épandage par aspersion, la tonne à lisier est équipée d'un diffuseur placé à la sortie de la vanne de vidange. Ce diffuseur est conçu pour répartir le lisier en nappe sur le sol.



Chapitre II : MATERIEL DE SEMIS, PLANTATION ET REPIQUAGE

I. Matériels de semis :

Pour germer puis donner une plantule, la graine doit se trouver dans un environnement (lit de semence) permettant de satisfaire ses exigences : en eau, oxygène et température. Le rendement d'une culture étant le produit de deux composantes :

- Le nombre de plants par unité de surface qui dépend de la qualité de la levée et donc de la qualité du semis.
- La production de chaque plant qui dépend du climat et des autres opérations culturales (désherbage, fertilisation, traitements phytosanitaires et irrigation).

Alors que la qualité du semis dépend des :

- Choix techniques avant et pendant le semis :
 - ✓ Qualité de la semence dont l'état varie selon son origine et son stockage.
 - ✓ Qualité du lit de semence dépendant du choix et des réglages des outils de travail du sol.
 - ✓ Qualité du placement de la graine résultant du choix et des réglages des outils de semis.
- Conditions climatiques après semis.

Le semis s'effectue avec des semoirs qui déposent des graines dans un sillon ouvert par des organes d'enterrage, puis refermé par des organes de recouvrement. Selon le type de culture, on distingue les semoirs en lignes qui sont principalement utilisés pour les semis qui ne nécessitent pas un contrôle précis du nombre de graines au mètre et leur espacement dans le rang (l'exemple des céréales) et les semoirs monograines utilisés pour les semis plus précis (l'exemple des betteraves et du maïs) qui sont aussi appelés semoirs de précision.

Les semoirs présentent de nombreux avantages qu'on peut résumer aux points suivants :

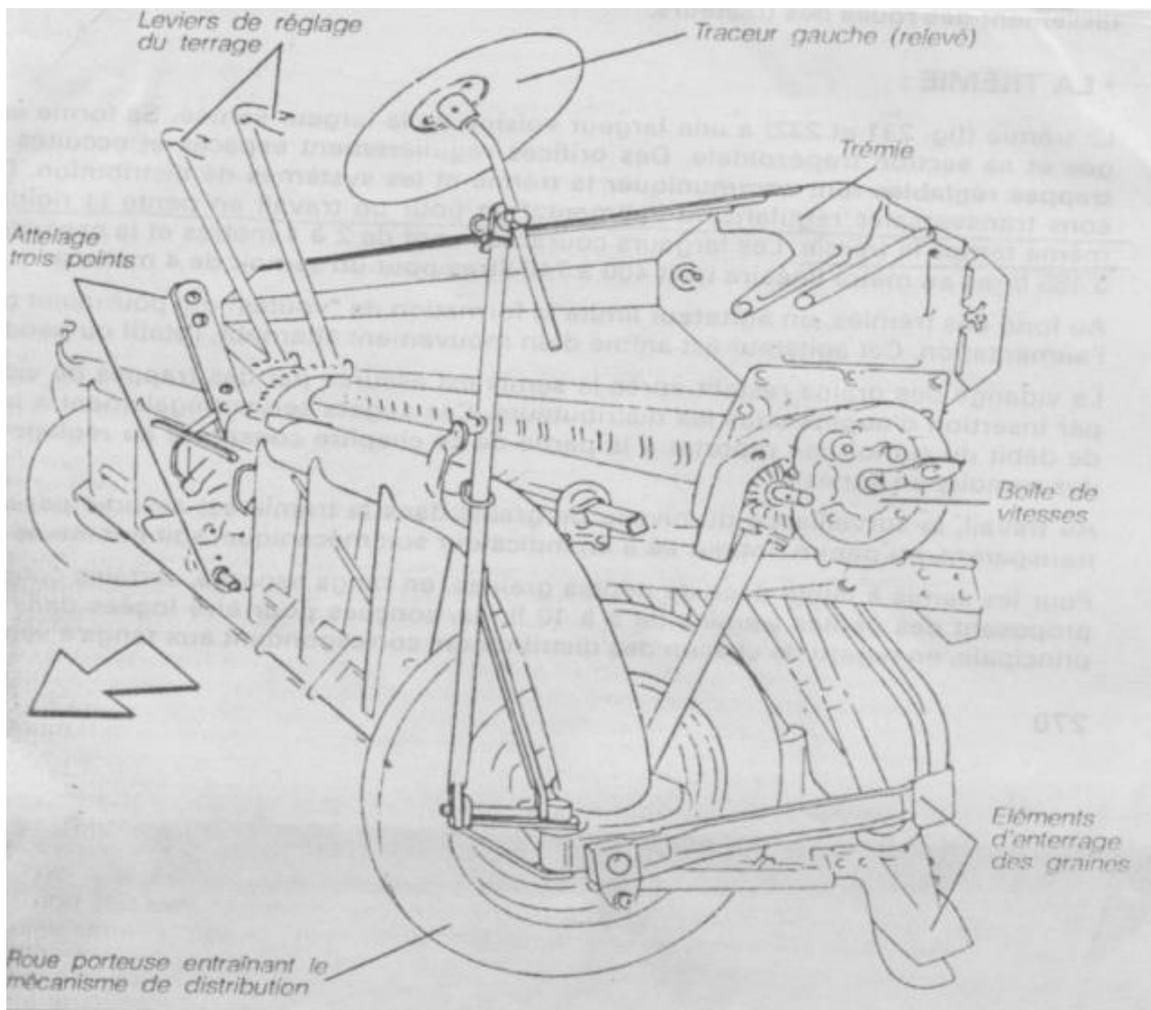
- Régularité du débit et de l'écartement entre les lignes (réglable entre 12 et 80cm) avec une répartition uniforme.
- Régularité de l'enfouissement à une profondeur constante (1 à 8cm), ceci malgré les irrégularités du terrain.
- Une économie des semences utilisées allant de 30 à 50% comparant au semis à la volée.
- Polyvalence du matériel qui peut semer aussi bien les petites graines fourragères que les graines de céréales et du maïs.
- Respect de l'intégrité de la graine lors de son passage à travers les organes de distribution.
- Facilité du contrôle du travail effectué, la vidange de la trémie et le nettoyage des organes de travail.

I.1. Semoirs en lignes :

Les semoirs en lignes sont à distribution mécanique et les graines sont transportées par gravité. Cependant, l'accroissement des largeurs de travail conduit les constructeurs à proposer des semoirs en lignes à transport pneumatique des graines.

I.1.1. Semoirs en lignes à distribution mécanique (semoir en lignes classique) :

C'est un appareil semi-porté ou traîné qui assure la distribution et l'enterrage des graines suivant des lignes régulières. Il comprend : une trémie, des organes de distribution dont le rôle est de doser la quantité de semences déposée dans le sol, des organes d'enterrage, de recouvrement et de rappuyage.



Vue générale d'un semoir en ligne à distribution mécanique

I. 1.1.1. La trémie :

C'est le réservoir des graines, elle a généralement une forme allongée à section transversale trapézoïdale. Ses parois lisses favorisent le glissement des graines vers les organes de distribution. Le fond alvéolé permet une vidange quasi complète du grain. Sa capacité est d'environ 100kg/mètre de largeur. Le cloisonnement limite le déplacement latéral des graines lors des virages ou des travaux en pente, il permet aussi de renforcer la trémie.

Au fond de la trémie se trouvent des alvéoles qui peuvent être obstruées par des trappes et un agitateur qui évite aux graines de former des voûtes et améliore leur écoulement.

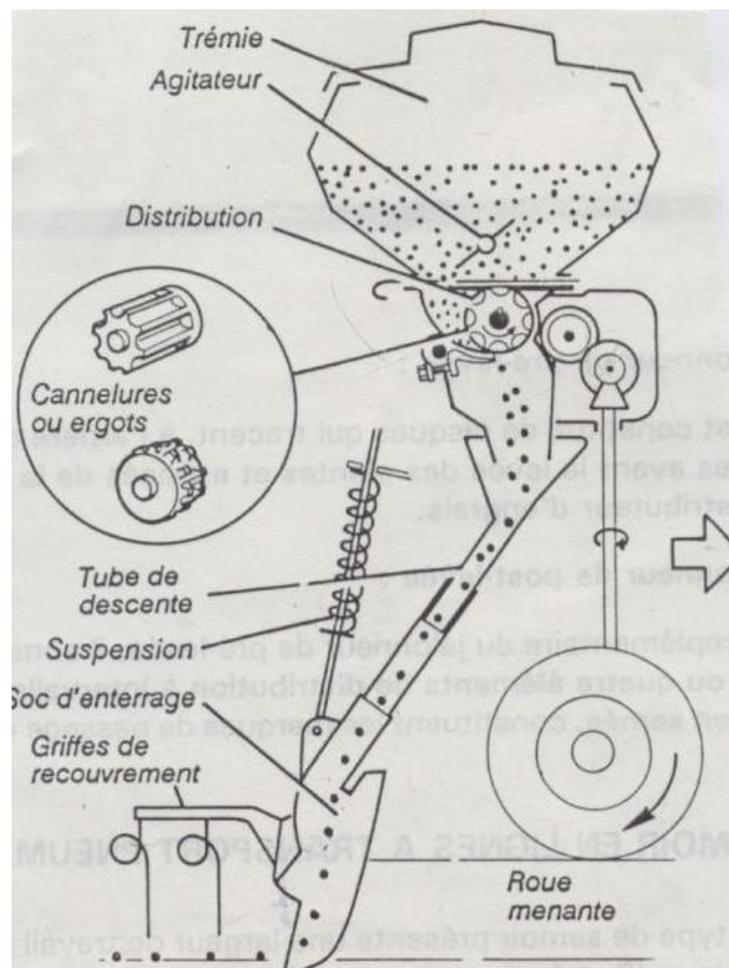
La trémie est munie d'un couvercle assurant son étanchéité contre les diverses projections (poussière, pluie...etc.). Sa hauteur ne doit pas dépasser 1.20m pour faciliter le chargement.

I.1.1.2. La distribution :

Les semoirs en lignes sont équipés d'autant d'éléments distributeurs que de lignes de semis. Ces éléments sont placés sous la trémie dans des chambres de dosage séparées, appelées boîtier de distribution. Le fond de chaque boîtier est constitué d'une paroi mobile appelée languette, maintenue contre le distributeur par un ressort réglable. Cette disposition régularise la pression des graines à la sortie des distributeurs et limite leur casse.

L'ensemble des éléments distributeurs est animé par un arbre commun entraîné à vitesse réglable par une transmission commandée par les roues du semoir. Ceci permet que la vitesse de rotation des distributeurs et donc leur débit, soit proportionnelle à la vitesse d'avancement.

Selon les cas, la distribution peut être assurée soit par des distributeurs à cannelures soit par des distributeurs à ergots ou des distributeurs polyvalents.



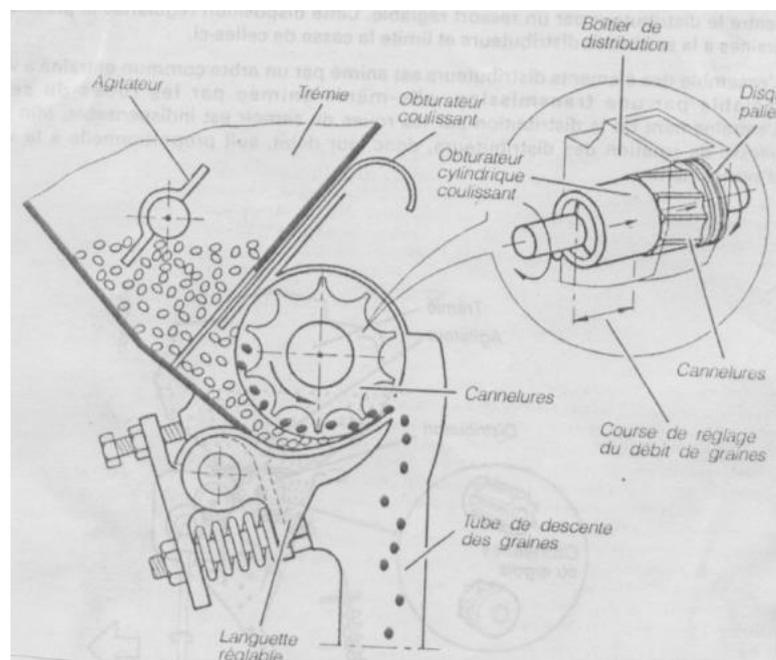
Vue en coupe et principe de fonctionnement d'un semoir en ligne à distribution mécanique.

a. La distribution à cannelures :

Cette distribution est assurée par des cylindres rotatifs comportant des cannelures périphériques axiales ou hélicoïdales et placés dans des boîtiers. Ils sont fabriqués en matière plastique lisse.

En tournant, chaque cannelure prélève à la base de la trémie une quantité de graines limitée et bien définie. Emprisonnées entre la paroi du boîtier et le creux de la cannelure, les semences sont libérées dans le tube de descente correspondant qui les conduit à l'élément d'enterrage. Cette distribution est aussi appelée distribution forcée.

La variation du débit des distributeurs est obtenue par le réglage de la vitesse de leur rotation et par coulissement axial des cylindres cannelés.



Distributeur à cannelures

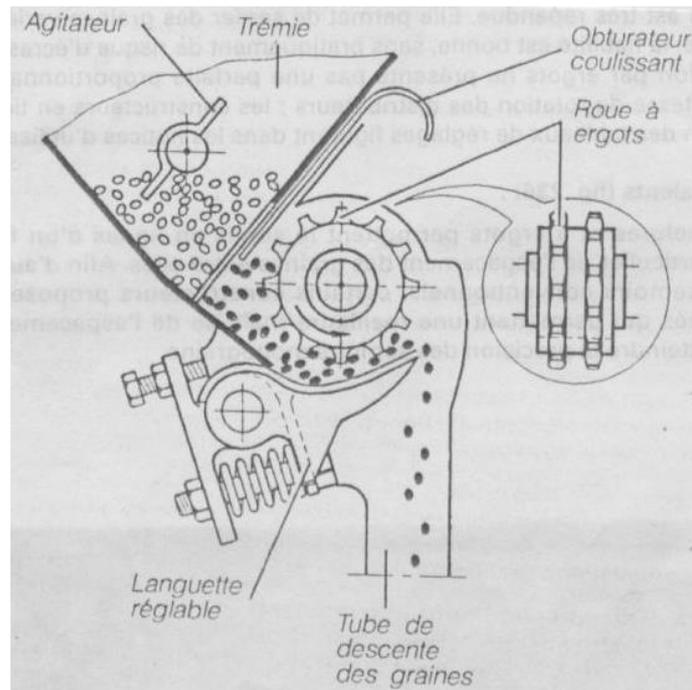
b. La distribution à ergots :

Comme les distributeurs à cannelures, chaque distributeur à ergots correspond à un rang de semis et l'ensemble des distributeurs est animé par un axe commun.

Chaque élément de distribution est constitué par un cylindre muni de rangées d'ergots, en forme de tronc de pyramide, et tournant dans un faux fond enveloppant.

Les graines sortent de la trémie par une trappe à ouverture réglable et passent entre le cylindre à ergots et la languette du fond de distributeur. Chaque ergot accompagne un ou plusieurs grains jusqu'au tube de descente. Les constructeurs fournissent souvent deux ou trois types de cylindres à ergots adaptés aux différents calibres de graines.

Le réglage principal consiste à modifier la vitesse d'écoulement, donc le débit, en choisissant le régime de rotation grâce à une boîte de vitesse et un variateur.



Distributeur à ergots

I.1.1.3. Les organes de mise en terre :

Il s'agit des organes qui canalisent les graines sortants des distributeurs et qui les localisent dans le sol en creusant un sillon. Ces organes comportent : les tubes de descente, les éléments d'enterrage et les organes de recouvrement.

a. Les tubes de descente :

Ces tubes relient chaque distributeur à un organe d'enterrage. Ils canalisent les graines en assurant un écoulement régulier. Ils sont constitués de gaines souples ou de tubes télescopiques en matière plastique, ou parfois en tôle.

Il en existe deux types les plus utilisés :

- Tubes souples formés de feuillards d'acier enroulé en spirales (moins utilisés).
- Tubes télescopiques rigides en matière plastique.

L'extrémité supérieure des tubes est raccordée aux distributeurs par un manchon souple, ou le plus souvent par un cône ouvert disposé en entonnoir.

b. Les organes d'enterrage :

Leur rôle est d'ouvrir le sillon et d'y déposer la graine à une profondeur déterminée. Ils sont composés d'un support articulé et d'un corps rayonneur à socs ou à disques.

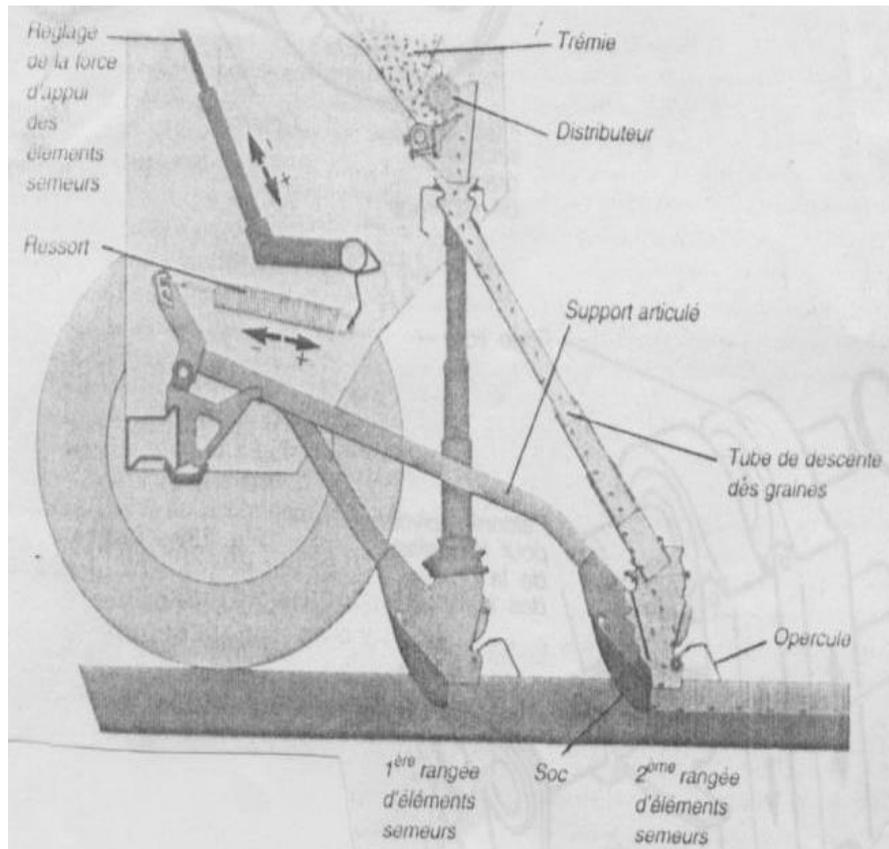
- **Les supports articulés :** ils permettent de suivre toutes les inégalités du terrain, avec une certaine liberté verticale et une rigidité latérale suffisante, dans le but d'avoir des lignes de semis parallèles. Ils sont indépendants les uns des autres et sont successivement courts et longs, de

manière à répartir les éléments d'enterrage sur deux ou trois rangées, afin d'éviter les bourrages et d'obtenir des espaces entre-rangs réduits. Les supports articulés sont appuyés au sol par des ressorts dont la tension est réglable individuellement et simultanément par un levier. Dans les terres lourdes, les ressorts doivent être plus tendus que dans les terres légères où le poids du soc peut suffire à maintenir les graines à bonne profondeur.

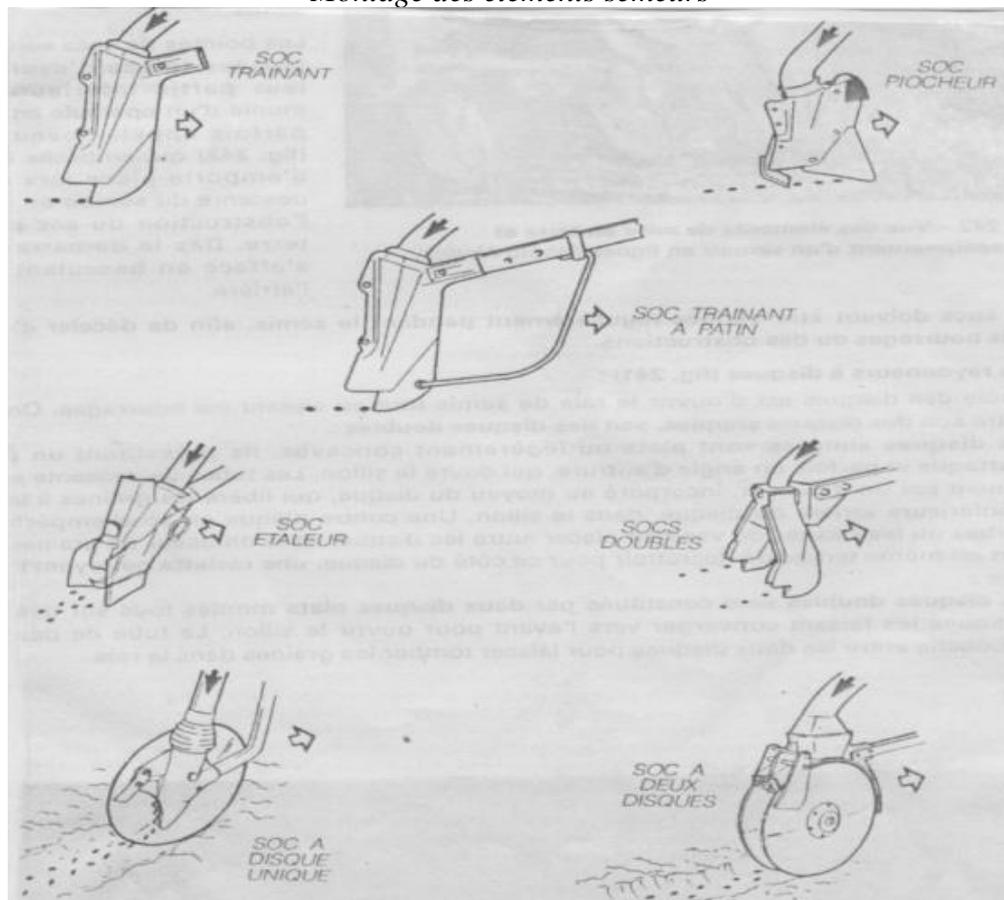
- **Les rayonneurs à socs** : ils sont appelés sabots ou bottes de semis. Ils présentent une forme profilée et creuse pour laisser passer les graines afin de les déposer dans le sol. On distingue :
 - ✓ Les socs traînants, qui sont les plus répandus.
 - ✓ Les socs piocheurs permettant d'éviter les rebondissements dus aux vitesses rapides et au terrain dur.
 - ✓ Les socs à patins permettant de limiter la profondeur de semis en terre légère ou de semer à de faibles profondeurs.
 - ✓ Les socs étaleurs, conçus pour semer des graines en bande (le lin).
 - ✓ Les socs doubles permettant de semer sur deux lignes très rapprochées à partir d'un seul support.

Les socs doivent être vérifiés régulièrement pendant le semis afin de déceler d'éventuels bourrages ou des obstructions.

- **Les rayonneurs à disques** : le rôle des disques est d'ouvrir la raie tout en évitant les bourrages. Ils peuvent être simples ou doubles.
 - ✓ **Les disques simples** sont plats ou légèrement concaves. Ils présentent un angle d'attaque et parfois un angle d'entrure, qui ouvre le sillon. Les tubes de descente se terminent par un diffuseur incorporé au moyeu du disque qui libère les graines à la partie inférieure arrière du disque, dans le sillon.
 - ✓ **Les disques doubles**, sont constitués par deux disques plats montés fous sur des axes obliques les faisant converger vers l'avant pour ouvrir le sillon. Le tube de descente débouche entre les deux disques pour laisser tomber les graines dans la raie. Les disques sont utilisés particulièrement dans les terres lourdes.



Montage des éléments semeurs



Différents types d'éléments rayonneurs

c. Les organes de recouvrement :

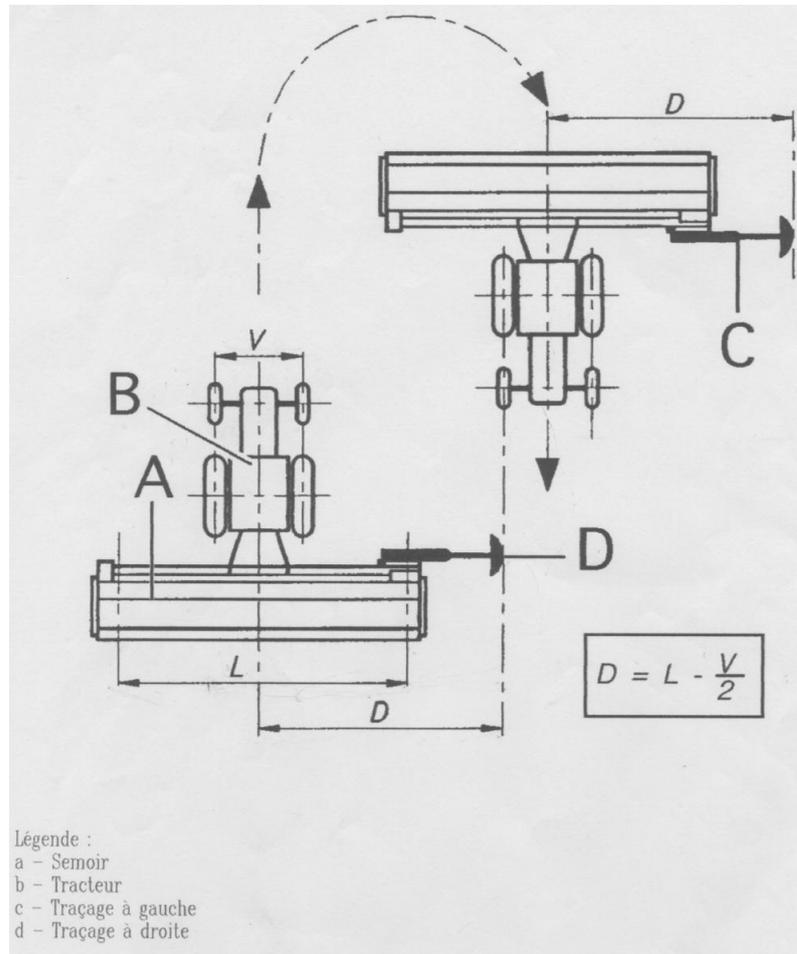
Ce sont des organes annexes aptes à refermer le sillon. Ils peuvent être de petits éléments de herSES ou des griffes, parfois accompagnés de rouleaux de rappuyage. Leur rôle est de projeter un peu de terre fine sur les graines.

I.1.1.4. Les organes accessoires :

a. Les traceurs :

C'est généralement des disques qui permettent le repérage du passage précédent. Ils marquent au sol la trace que le tracteur devra suivre lors du passage suivant.

Les traceurs sont supportés par des bras pivotants placés de chaque côté du semoir dont la longueur est réglable en fonction de la voie du tracteur. Leur commande est assurée manuellement ou hydrauliquement.



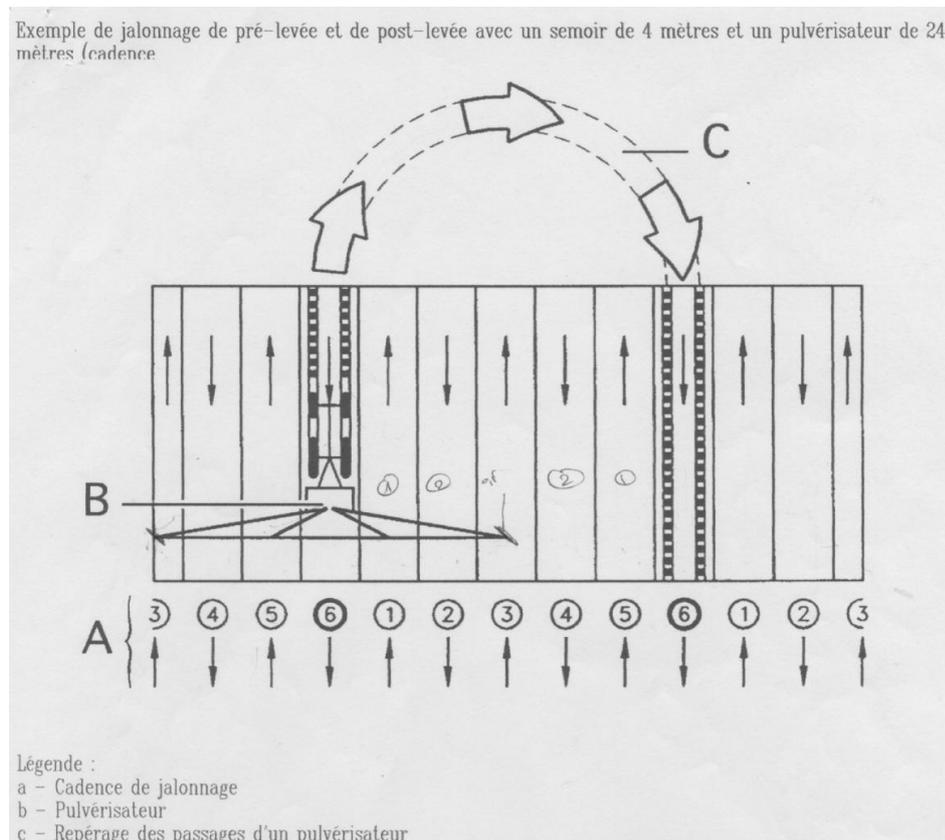
Réglage des traceurs

b. Les jalonneurs :

Ils permettent de localiser dès le semis les futurs emplacements de passage d'épandeur d'engrais et de pulvérisateur.

- **Jalonneurs prélevée**, deux disques tracent dans le sol des sillons visibles avant la levée des plantes à des espacements définis par la largeur du pulvérisateur ou de l'épandeur d'engrais.

- **Jalonneurs post-levée**, dans les mêmes lignes que les jalonneurs de prélevée, les jalonneurs de post-levée agissent en débrayant deux ou quatre élément de distribution à intervalles déterminés. Ces intervalles constituent des marques visibles pour le passage des roues dans la végétation lors des opérations ultérieures de fertilisation ou de traitements phytosanitaires.



I.1.1.5. Vérification du débit d'un semoir en lignes :

Les tableaux de réglages fournis par les constructeurs donnent des indications très approximatives sur le choix d'un réglage correct pour une semence et un débit donnés. De nombreux facteurs influent fortement sur le débit réel : nature des traitements des graines, propreté et taux d'humidité des graines, pente du terrain, vitesse d'avancement du semoir...etc.

On doit donc pour un réglage choisis, effectué une vérification du débit en utilisant la semence envisagée et en suivant les étapes :

- Réglage de la distribution suivant les indications du constructeur.
- Soulever le bâti sur des cales afin de pouvoir faire tourner la roue du semoir qui commande la distribution. Faire tourner la roue pour amorcer la distribution.
- Placer une bâche (ou des augets) sous les tubes de descente et les organes d'enterrage pour récupérer la semence.

- On choisit une surface de référence qui est en générale de 100m² (1/100ha) pour les graines de céréales, et de 250m² (1/40ha) pour les petites graines fourragères. Pour un semoir de largeur donnée (l), cette surface correspond à une distance de référence (d). $d = 100/l$ pour les céréales, et $d = 250/l$ pour les fourrages.
- Mesurer la circonférence (c) de la roue d'entraînement de la distribution.
- Calculer le nombre (N) de tours de roues correspondant à la surface de référence (Sr), pour les céréales : $N = Sr/c * l = 100/c * l = N$ tours, pour les petites graines fourragères : $N = Sr/c * l = 250/c * l = N$ tours.
- Faire tourner la roue du semoir de N tours.
- Recueillir la semence et la peser.
- Calculer la dose en kg/ha correspondant à cet essai en multipliant le résultat par 100 pour la céréale et 40 pour le fourrage. Si ce débit diffère du débit souhaité, on recommence l'essai en modifiant le réglage jusqu'à obtenir satisfaction.

I.1.1.6. Réglages :

La diversité des conditions d'utilisation des semoirs amène à intervenir fréquemment sur plusieurs réglages.

- **Ecartement des lignes de semis** : Il dépend essentiellement de l'espèce semée. On peut agir par fermeture des trappes situées au dessus des distributeurs à supprimer.
- **Densité de semis** : le réglage est différent selon le type de distribution.
 - ✓ *La distribution à cannelures* : le réglage se fait en modifiant l'ouverture de la cannelure et la vitesse de rotation de la distribution.
 - ✓ *La distribution à ergots* : le choix de l'ergot, de l'ouverture de la trappe supérieure et de l'obturateur inférieur se font en fonction de la taille des graines. Le réglage de la densité de semis se fait uniquement en modifiant la vitesse de rotation de la distribution.
- **L'aplomb** : ce réglage est nécessaire pour obtenir une profondeur de semis homogène. Il est obtenu par réglage de la longueur de la biellette du troisième point d'attelage. On contrôle la position au moyen de l'indicateur d'aplomb placé latéralement sur la trémie.
- **Profondeur de semis** : ce réglage s'obtient en modifiant la pression exercée sur chaque organe d'enterrage, selon sa position par rapport aux hétérogénéités du sol (traces des roues du tracteur), et la résistance à la pénétration des organes d'enterrage dans le sol (en sol meuble, détendre les ressorts).

- **Recouvrement du lit de semence :** les dents des herses de recouvrement doivent être réglées pour que leur position ne perturbe pas le placement des graines dans le sol.
- **Rappuyage du lit de semence :** il n'est possible qu'avec des roues tasseuses fixées derrière les organes d'enterrage.
- **Vitesse d'avancement :** une vitesse excessive de semis peut provoquer un patinage des roues qui modifie la densité de semis. Elle entraîne aussi une irrégularité de la profondeur de semis, notamment sur lit de semence motteux. Si sur de très bonnes préparations de lit de semence, la vitesse de semis peut atteindre 8km/h, dans la plupart des situations une vitesse raisonnable se situe entre 5 et 6km/h.

I.1.2. Semoirs en lignes à transport pneumatique des graines :

Ce type de semoirs présente une largeur de travail plus élevée que les semoirs classiques, pouvant atteindre jusqu'à 12m.

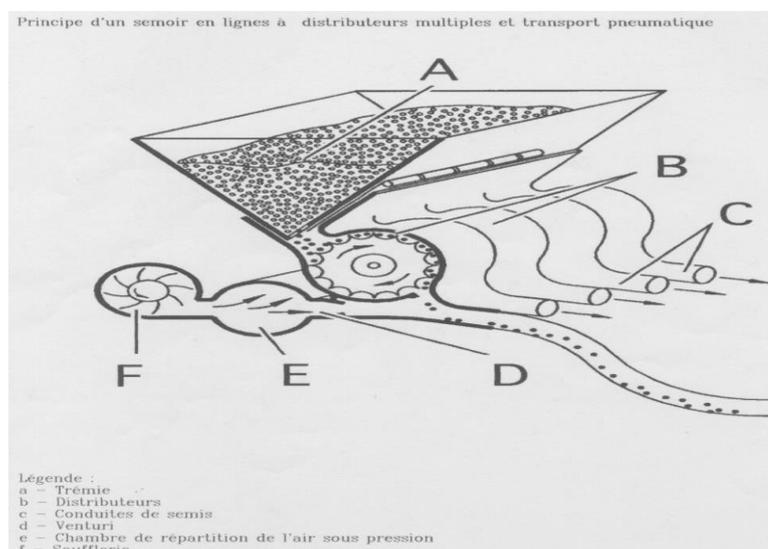
Il est pourvu d'une trémie, d'un système de distribution comparable à celui des semoirs classiques mais dont les éléments sont nettement plus rapprochés, d'un circuit de transport pneumatique des graines, de systèmes d'enterrage et de recouvrement comparables à ceux des semoirs en lignes classiques.

On distingue les semoirs à distributeurs multiples et les semoirs à distribution centralisée.

I.1.2.1. Semoirs à distributeurs multiples :

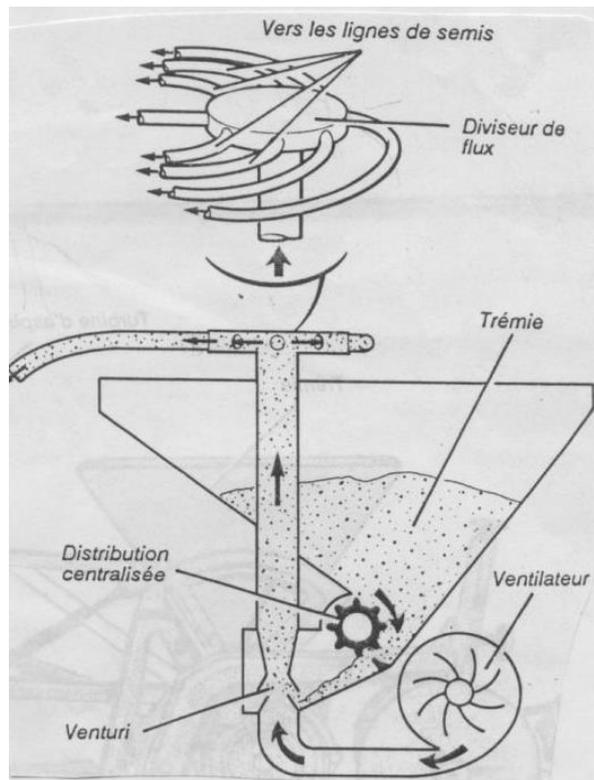
Dans ce type de semoirs, la quantité de graines pour chaque ligne de semis est dosée par un distributeur à cannelures ou à ergots identique à celui des semoirs en lignes classiques.

A leur sortie des distributeurs, les graines sont entraînées dans des gaines souples grâce au flux d'air d'un ventilateur qui les transporte vers les organes d'enterrage.



I.1.2.2. Semoirs à distribution centralisée :

Il comprend un distributeur (ou doseur) unique pour l'ensemble des lignes de semis et un répartiteur. Le distributeur est constitué d'un rotor à cannelures dont les cellules sont réglables à la manière même d'un distributeur classique à cannelures. Les graines sortant du distributeur sont transportées par un courant d'air vers le répartiteur qui divise le flux principal d'air en autant de flux secondaire que de corps de semis à alimenter.



Coupe transversale d'un semoir pneumatique à distribution centralisée

I.2. Semoir monograine :

C'est un semoir permettant de réaliser un semis en lignes, graine par graine espacées dans le rang à une distance préalablement définie.

Il existe de nombreuses techniques d'obtention du semis monograine qui peuvent être classées en deux groupes : les semoirs monograine à distribution mécanique de la graine et les semoirs monograine à distribution pneumatique.

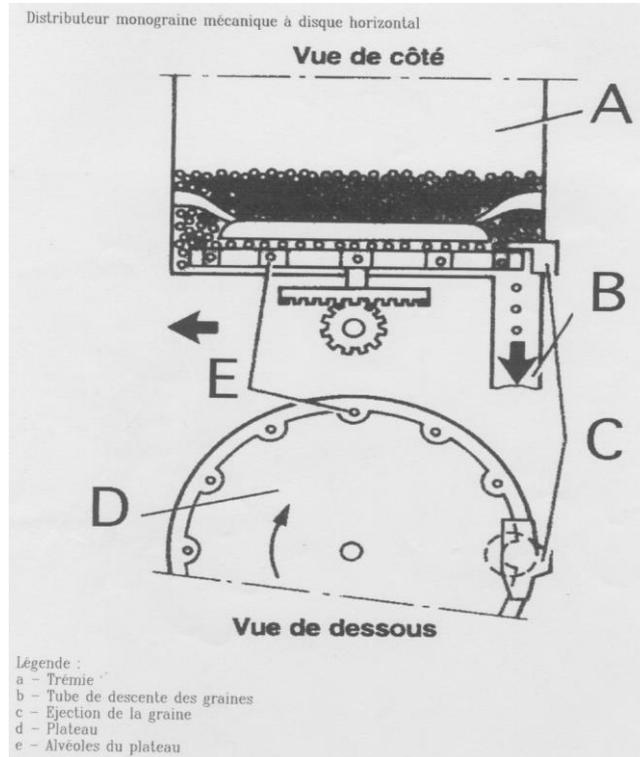
Généralement, le semoir est constitué de 4 à 8 éléments de semis indépendants comprenant chacun : une trémie, un système de distribution, d'enterrage et de recouvrement.

Il existe aussi des semoirs à distribution centralisée qui comprennent une trémie unique et un distributeur central qui dirige les graines vers les corps de semis.

I.2.1. Semoirs monograine à distribution mécanique :

I.2.1.1. Semoir à plateau alvéolé, horizontal ou incliné :

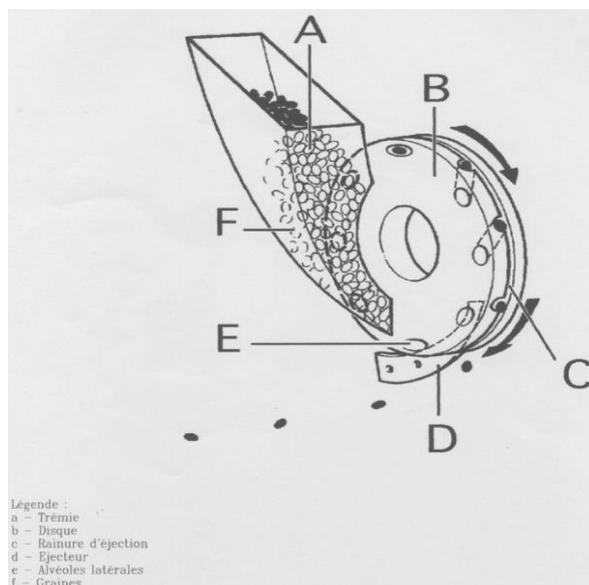
Dans ce type de semoirs, un plateau horizontal ou incliné comportant des alvéoles à sa périphérie tourne au fond d'une trémie cylindrique. Les graines se logent par gravité dans les alvéoles et sont entraînées vers un canal d'évacuation à l'entrée du quel un dispositif élimine les graines en surnombre.



I.2.1. 2. Semoir à disque rotatif vertical :

Des alvéoles placées sur la périphérie d'un disque prélèvent des graines dans une trémie. Au cours de la rotation du disque, les graines sont conduites au-dessus du corps de semis dans lequel elles tombent par leur propre gravité ou grâce à une languette d'éjection.

Pour chaque taille de graine, il faut disposer d'un disque adapté.



I.2.1. 3. Semoir monograine à doigts :

Semoir dans lequel la prise des graines est réalisée en fond de trémie par un disque muni de languettes articulées ou doigts. Au cours de la rotation du disque, les doigts libèrent chaque graine dans les godets d'une courroie, d'où elle tombe par gravité dans le sillon.

I.2.2. Semoirs monograine à distribution pneumatique :

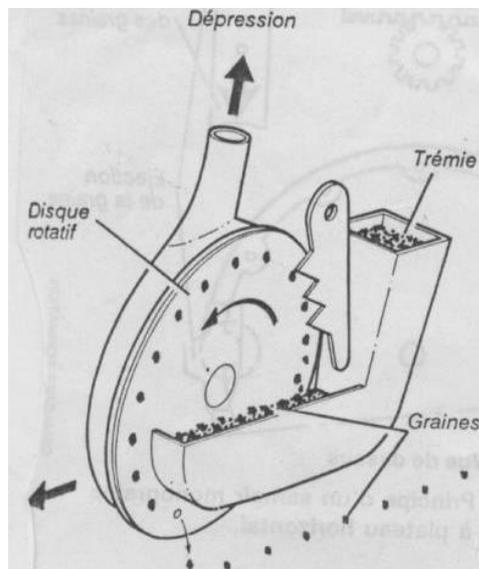
Dans ce type de semoirs, seule la rotation du disque est commandée mécaniquement par les roues porteuses. Par contre, les opérations de prise de graines, d'entraînement et d'éjection vers le sol s'effectuent par la pression ou la dépression d'air d'un ventilateur actionné par la prise de force du tracteur.

I.2.2. 1. Semoir pneumatique à disque rotatif :

Ce semoir est constitué par une trémie et par une chambre d'aspiration qu'un disque de distribution sépare d'une chambre se trouvant à la pression atmosphérique.

Les graines sont aspirées contre le disque au niveau des perforations qu'elles ne peuvent franchir, puis entraînées par la rotation du disque et libérées au ras du sol par la suppression de l'aspiration.

Le maintien des graines contre les orifices du disque s'effectue par la dépression d'air d'un ventilateur.

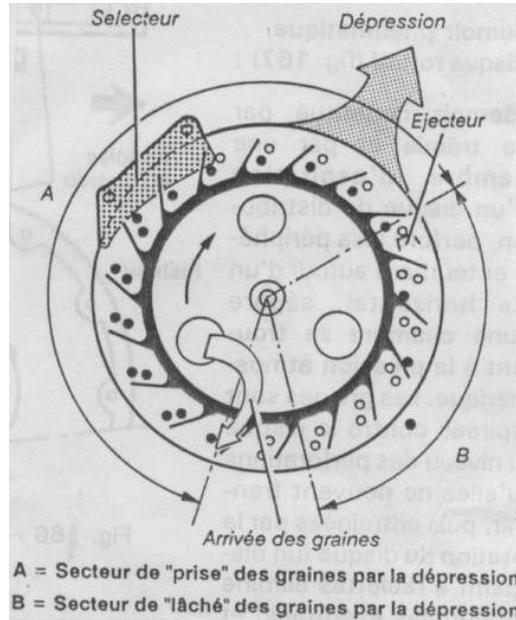


I.2.2.2. Semoir pneumatique à disque et rotor à ailettes :

Ce semoir comprend un disque à deux ou trois niveaux concentriques de perforation, un rotor à ailette, un sélecteur et un éjecteur.

Les graines venant de la trémie, par une chambre intermédiaire, sont aspirées contre les perforations extérieures du disque par dépression d'air.

En rotation, le disque passe devant un sélecteur qui dévie les graines vers la deuxième rangée de perforations, afin d'éliminer les graines éventuellement en double, puis la dépression cesse et les graines passent devant un éjecteur qui les sépare de leur orifices. Les graines ainsi libérées sont conduites par les ailettes du rotor jusqu'à la conduite du semis.



I.2.2. 3. Semoir pneumatique à distribution centralisée :

C'est un semoir dont la distribution ne s'effectue pas sur chaque élément de semis mais à partir d'un distributeur central.

Le transport des graines entre le distributeur et le corps de semis s'effectue pneumatiquement aux travers de conduites flexibles. Chaque conduite est raccordée à un diffuseur placé sur la périphérie d'un disque rotatif distributeur horizontal.

Chaque diffuseur reçoit les graines distribuées par le disque rotatif et les injecte dans un courant d'air qui les conduit au corps de semis correspondants.

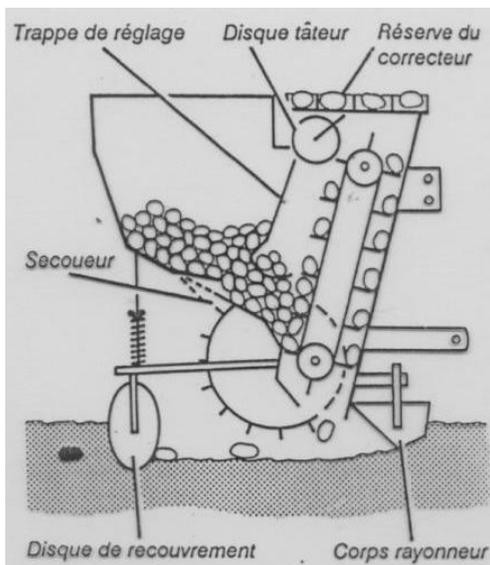
I. Matériels de plantation

II.1. Planteuses de pomme de terre :

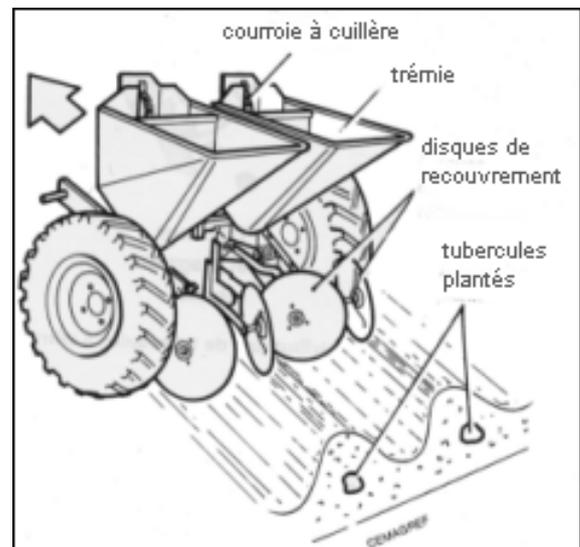
Les planteuses de pommes de terre sont des outils permettant la mise en terre de tubercules de différents calibres, à distance et profondeur régulière, sans abîmer les germes. Ils sont constitués d'un ou plusieurs éléments de plantation sur un bâti semi-porté (jusqu'à 3 rangs) ou traîné (4 à 6 rangs).

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.



Vue en coupe d'une planteuse de pomme de terre



vue générale d'une planteuse de pomme de terre

Chaque élément de plantation est constitué d'un corps rayonneur, d'un système de distribution et de disques de recouvrement.

1. Corps rayonneurs : C'est généralement un soc à deux versoirs, inclinés ou perpendiculaires au sol, chargé d'ouvrir le sillon.

2. Système de distribution : Entraîné par les roues de la planteuse, le système de distribution comprend une courroie à cuillères ou à godets qui transporte les tubercules de la trémie jusqu'à quelques centimètres du fond du sillon. Sur certaines machines, un palpeur détecte les manques et déclenche un correcteur alimenté par une trémie auxiliaire.

3. Disques de recouvrement : Le recouvrement des tubercules déposées dans le sillon est réalisé

par deux disques buteurs divergents.

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.

II. Matériel de repiquage :

Repiqueuse de plants:

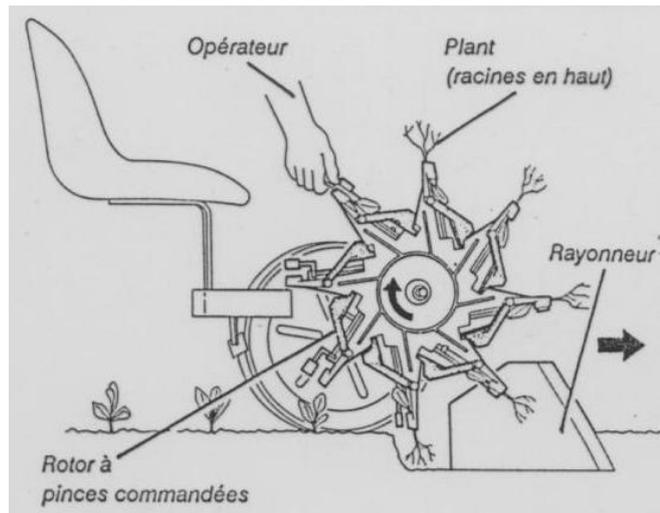
Machine destinée à mettre en terre, à sa place définitive, une plante préalablement élevée en pépinière. Son fonctionnement est voisin de celui des planteuses de tubercules. A ceci près que les plants sont très fragiles et qu'ils doivent être disposés dans une position précise. Elles nécessitent en principe la présence de personnel assis devant les distributeurs pour les approvisionner.

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 plusieurs systèmes de distribution, le distributeur à pince et le distributeur à disques souples sont les plus utilisés.

1. Distributeur 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 rattachement le maintiennent en terre).



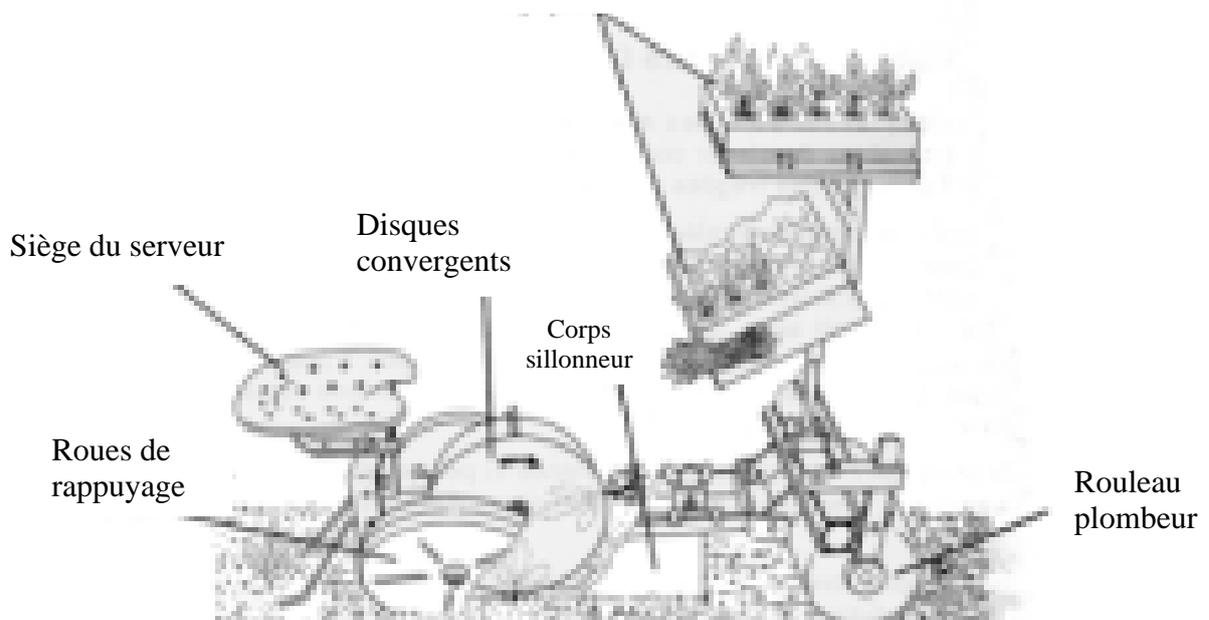
Principe d'une planteuse à roues et pinces

2. Distributeur à disques souples

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.

Il s'agit de deux disques souples dont l'écartement est commandé par des galets. L'opérateur 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.

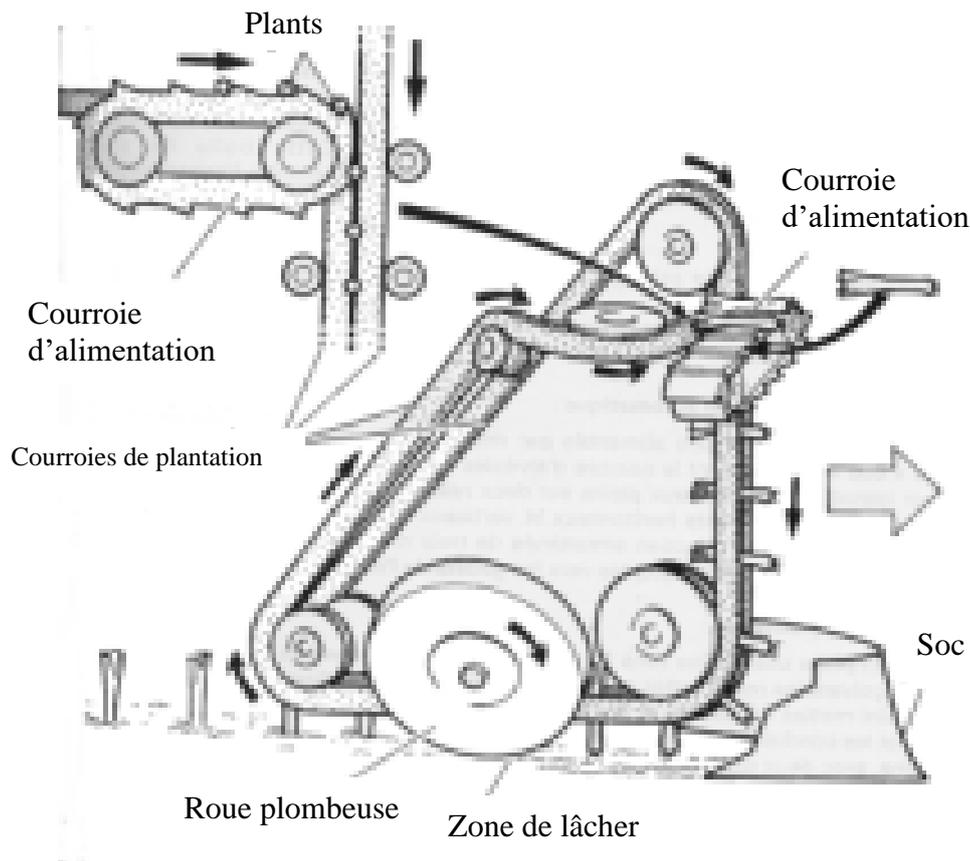
Plants à repiquer



Principe d'une planteuse à disques convergents

3. 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 plumbeuses convergentes.



Principe d'une planteuse à courroies

Chapitre III: MATERIEL DE TRAITEMENT DES CULTURES

Introduction:

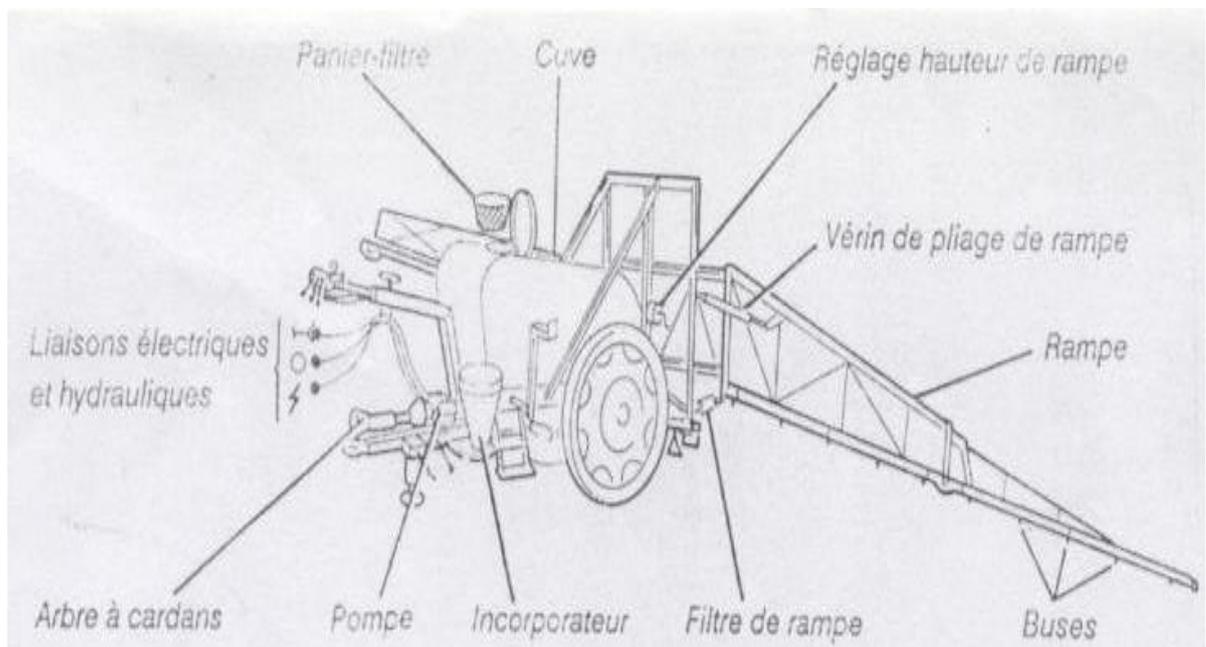
Le traitement des cultures est une succession d'opérations de lutte contre les maladies, les ravageurs et les mauvaises herbes. La plupart des produits phytosanitaires sont destinés à être appliqués (sur les plantes, le sol, les graines) après dispersion dans un liquide support (eau le plus souvent), sous forme de gouttes ayant un diamètre généralement inférieur à 1mm, produites par un pulvérisateur. Le mélange liquide à pulvériser est appelé « bouillie ».

La pulvérisation consiste à diviser un liquide en fines gouttelettes et à en diriger le jet vers les organes végétaux à traiter ou vers le sol, de manière à ce qu'une certaine dose de produit par hectare soit respectée et épanchée aussi régulièrement que possible.

I. Pulvérisateur à pression de liquide à jet projeté :

C'est un appareil de traitement dont la pulvérisation du liquide est obtenue par la mise sous pression de ce liquide qui doit s'échapper par de petits orifices calibrés, en formant des gouttelettes qui sont projetées sans l'assistance d'un fluide auxiliaire. Le jet du liquide à grande vitesse entraîne de l'air qui contribue au transport des petites gouttes.

Le liquide contenu dans la cuve est refoulé par une pompe vers une rampe qui porte des orifices calibrés appelés buses de pulvérisation.



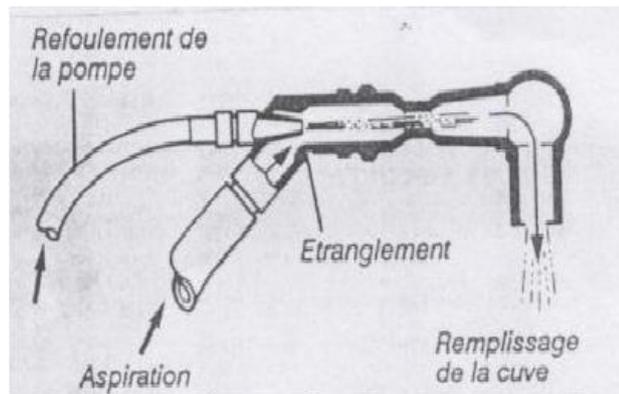
Les principaux organes des pulvérisateurs à jet projeté sont :

I.1. La cuve: c'est le réservoir de bouillie, maintenu en général à la pression atmosphérique. Les capacités varient de 200 à 1500 litres pour les pulvérisateurs portés et de 600 à 4000 litres pour ceux semi-portés et automoteurs. La cuve est dotée d'un couvercle étanche, d'un panier filtre et d'un

point bas (puisard) où se trouve l'orifice d'aspiration de la pompe et de vidange de la cuve. La vidange s'effectue grâce à une vanne ou un bouchon.

I.2. Le panier filtre: c'est un tamis en matière plastique, à grande surface filtrante, permettant d'arrêter les particules lors des remplissages.

I.3. Hydro-remplisseur ou hydro-injecteur: appareil de remplissage des pulvérisateurs, dans lequel un jet d'eau à grande vitesse (obtenu par le débit de la pompe de pulvérisation) traverse un étranglement de la canalisation de remplissage en créant une dépression qui aspire l'eau à travers une crépine.



I.4. L'incorporeur: Bac polyvalent (pour poudre et liquide) ou éprouvette avec canne et flexible pour l'aspiration des liquides. L'aspiration du produit et son mélange s'effectuent dans l'incorporeur, grâce au courant d'eau de remplissage de la cuve.

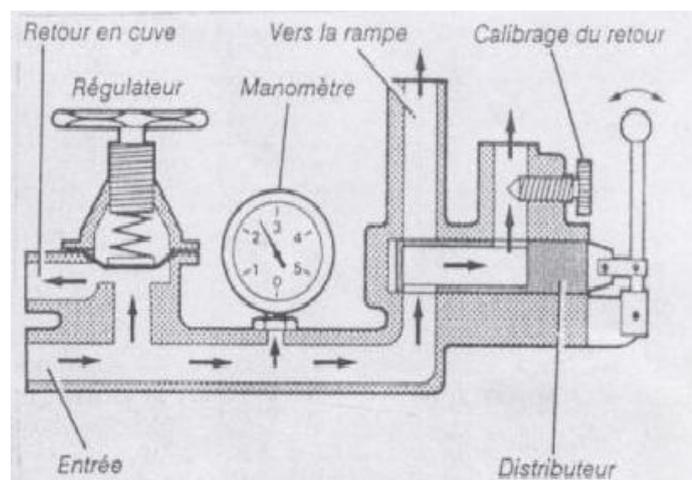


1.5. L'agitateur : dispositif assurant pendant le remplissage et le traitement le brassage de la bouillie dans la cuve. L'agitation est réalisée hydrauliquement par le retour d'une partie du débit de la pompe de pulvérisation ou par le débit d'une seconde pompe également utilisée pour le remplissage. Selon les cas, un agitateur mécanique (hélice, palettes, ...) est adjoint.

I.6. Système de rinçage : système de jet tournant à grande vitesse, alimenté par la pompe de pulvérisation et permettant un décapage des parois intérieures de la cuve.

I.7. Pompe de pulvérisation: pompe résistant à la pression maximale de pulvérisation, ainsi qu'à l'action chimique des produits et des engrais liquides. Pour le maintien d'un débit suffisant à pression élevée, on fait surtout appel à des pompes à piston ou à membrane. De telles pompes sont dites volumétriques, car leur débit est proportionnel à leur vitesse de rotation et peu sensible à la pression.

I.8. Régulateur de pression : placé sur le refoulement de la pompe, il commande une dérivation vers la cuve, afin de maintenir une pression de pulvérisation constante. Le liquide doit soulever une soupape rappelée vers son siège par une force réglable (ressort, fluide comprimé,...). La pression en amont immédiat du régulateur est sensiblement le quotient de cette force par la section de passage du fluide.



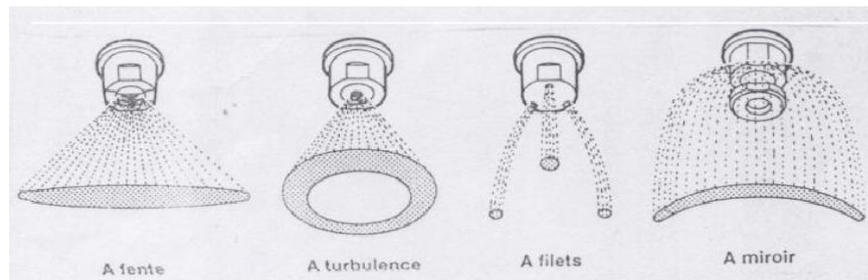
I.9. Le manomètre : instrument de mesure de la pression de bouillie, branché sur le refoulement, souvent au voisinage des buses. Il s'agit d'un indicateur à aiguille.

I.10. Les distributeurs : organes groupés pour la commande des alimentations des segments de rampe. Pour chaque segment, l'élément correspondant du distributeur est souvent associé à un dispositif de calibrage de retour. Le calibrage de retour ou équilibrage de pression a pour but de ne pas modifier la pression de pulvérisation lors de la coupure de l'alimentation d'un segment de rampe.

I.11. Les filtres: afin d'éviter l'obstruction des buses, les pulvérisateurs sont munis de filtration à plusieurs niveaux : filtre d'aspiration de la pompe, filtre de refoulement de la pompe, et filtre sur l'alimentation de chaque segment de rampe.

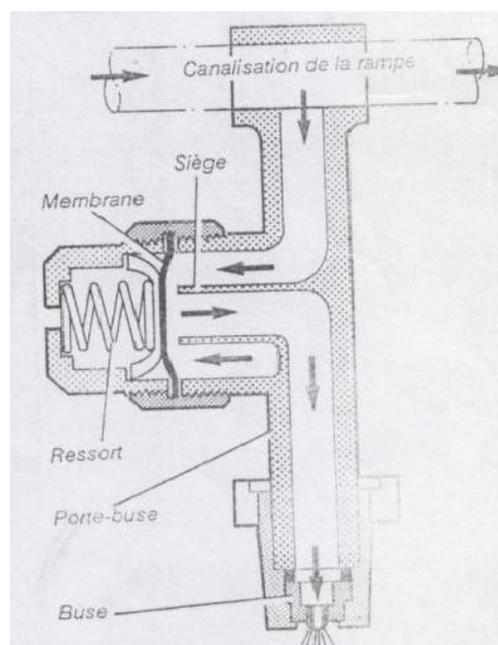
I.12. Rampe de pulvérisation: support sur lequel sont réparties les buses et qui supporte une ou plusieurs canalisations alimentées séparément (tronçons ou segments de rampe). Elle comporte plusieurs éléments articulés et est munie d'un système de suspension visant à maintenir partout la même hauteur par rapport à la végétation ou au sol, ainsi qu'un dispositif de repliage.

I.13. Buse de pulvérisation à pression de liquide : pièce dont le rôle est de réaliser la pulvérisation par pression de liquide. Elle comporte un orifice calibré dont le débit dépend d'une loi appelée loi de la buse. Cette loi consiste à ce que le débit d'une buse de pulvérisation reste sensiblement proportionnel à la racine carrée de la pression.



I.14. Le porte-buse: support permettant de relier les buses aux conduites de la rampe de pulvérisation. La buse est fixée au porte-buse par un écrou étanche à vis ou à baïonnette. Les portes-buses comprennent généralement un filtre et un dispositif anti-gouttes.

I.15. L'anti-goutte : organe logé en amont immédiat de chaque buse (pratiquement dans la buse elle-même), et destiné à empêcher l'émission du liquide par les buses après la coupure de l'alimentation du segment de rampe correspondant, et à obtenir le rétablissement rapide de la pression de service dès l'ouverture du distributeur. Un tel dispositif comporte en général, une soupape ou une membrane rappelée par un ressort taré à faible pression.



I.16. Dispositifs de régulation: pour mieux réaliser le volume par hectare prévu, les pulvérisateurs sont fréquemment équipés de dispositifs de régulation à débit proportionnel à l'avancement (DPA), ou à débit proportionnel au régime du moteur du tracteur (DPM). Ces automatismes conduisent à une régulation du débit par modification de la pression selon des écarts prédéterminés.

II. Les poudreuses:

Machines destinées à répartir sur le sol ou sur les plantes les produits en poudre utilisés pour lutter contre les maladies ou parasites.

La poudre contenue dans une trémie est entraînée par des dispositifs mécaniques ou pneumatiques (assurant également son agitation) dans un courant d'air engendré par un ventilateur centrifuge.

Le poudrage est surtout pratiqué pour l'application de soufre sur les vignes et les arbres fruitiers, ainsi que pour des traitements antifongiques en cultures maraîchères de plein champ et sous serre.

Chapitre IV: MATERIELS DE RECOLTE

I. Récolte de fourrage en sec:

La récolte des fourrages en sec consiste en plusieurs opérations qui vont de la coupe jusqu'à la rentrée du fourrage à la ferme et son stockage.

- La première opération consiste en la coupe des plants sur champs sous forme de bandes alignées derrière le passage de la faucheuse.
- La deuxième opération permet de reprendre ce matériau par le biais du faneur afin de remuer et mélanger les différentes parties du produit pour que toutes les herbes subissent une dessiccation homogène et obtenir un fourrage sec.
- La troisième opération, qui parfois a lieu en même temps que la précédente, se fait grâce à l'andainneur qui regroupe les brins d'herbes séchées sous forme d'andains de largeur plus réduite que ceux formés par la faucheuse, facilitant ainsi le ramassage.
- La dernière opération est la fonction de la ramasseuse presse qui ramasse les andains d'herbes en les pressant pour donner des bottes.

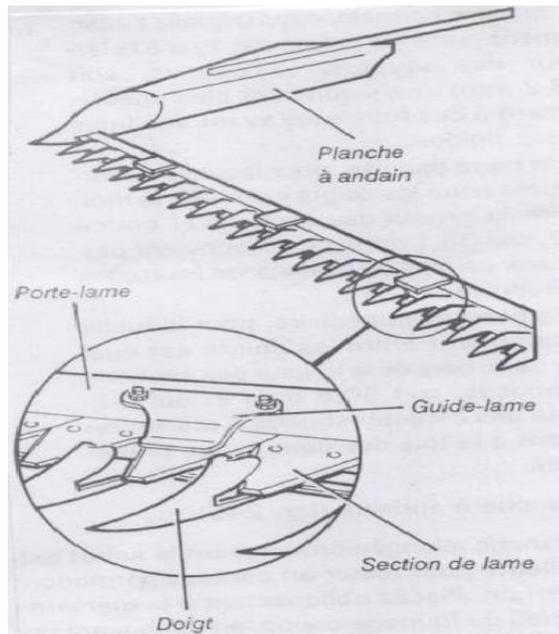
Par ailleurs, le fourrage pourrait être conservé par voie humide. Pour cela on utilise pour sa récolte une ensileuse qui coupe les herbes aux champs en les hachant et les refoule dans une remorque qui la suit derrière.

I.1. Le fauchage et le conditionnement:

Le fauchage ou coupe consiste à sectionner, à leurs bases, les tiges de fourrage sur pied de façon aussi nette que possible. Le conditionnement est une opération souvent associée à la coupe et consiste à écraser les tiges afin d'accélérer l'évaporation de l'eau qu'elles contiennent. Ces opérations sont réalisées avec des faucheuses et des conditionneuses, le plus souvent combinées en faucheuses-conditionneuses.

I. 1.1. Faucheuse à barre de coupe ou faucheuse alternative:

Machine dont l'organe de coupe (ou barre de coupe) comporte une lame animée d'un mouvement rectiligne alternatif qui coulisse dans une partie fixe munie de doigts dite porte-lame. Les doigts divisent le fourrage sur pied en touffes maintenues verticales avant le sectionnement par la lame. Le système de faucheuse à lame alternative est utilisé sur toutes les tables de coupe des moissonneuses-batteuses pour céréales.

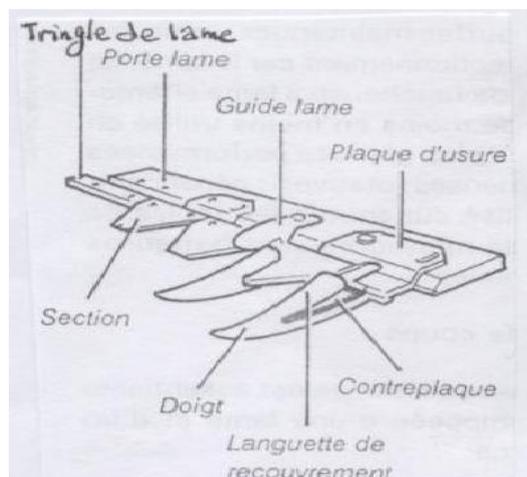


Vue générale d'une faucheuse alternative

A. La barre de coupe :

Une barre de coupe est essentiellement composée d'une lame et d'un porte-lame.

- **La lame de coupe:** la lame de coupe est une barre en acier étiré, de section rectangulaire, appelée aussi tringle. Sur cette tringle sont rivetées des sections qui sont de véritables couteaux-scies.
- **Le porte-lame:** appelé aussi barre-support. Il repose sur le sol par l'intermédiaire de deux sabots dont l'un, le sabot extérieur, reçoit la planche à andain. Il supporte tous les organes fixes qui permettent aux sections de la lame de couper effectivement le fourrage : doigts, guide lame et plaque d'usure. Le porte lame glisse sur le sol par ses sabots et peut pivoter dans un plan vertical perpendiculaire à l'avancement pour être relevé, totalement ou partiellement, ou pivoter autour d'un axe horizontal parallèle à l'avancement pour régler le pointage.



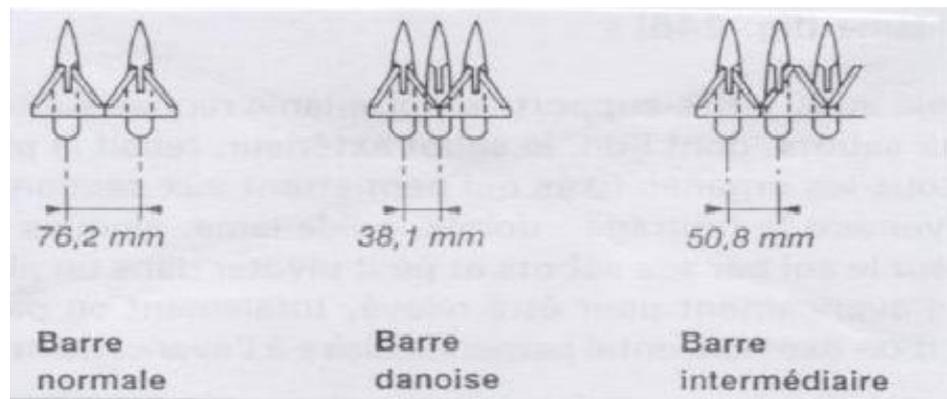
Vue partielle de la barre de coupe d'une faucheuse alternative

Selon l'écartement entre les axes des doigts, on distingue trois types principaux de barres de coupe :

✓ **La barre normale** : dans laquelle l'écartement entre les doigts est égal à la largeur des sections (76.2mm), et qui convient plus spécialement à des fourrages ayant des tiges assez rigides.

✓ **La barre danoise** : pour laquelle l'écartement entre les doigts est égal à la moitié de la largeur des sections (38.1mm), ce qui convient aux coupes rases.

✓ **La barre intermédiaire** : pour laquelle l'écartement entre les doigts est égal aux deux tiers de la largeur des sections (50.8mm), et qui présente des caractéristiques d'utilisation tenant à la fois des deux types précédents.



B. La planche à andains:

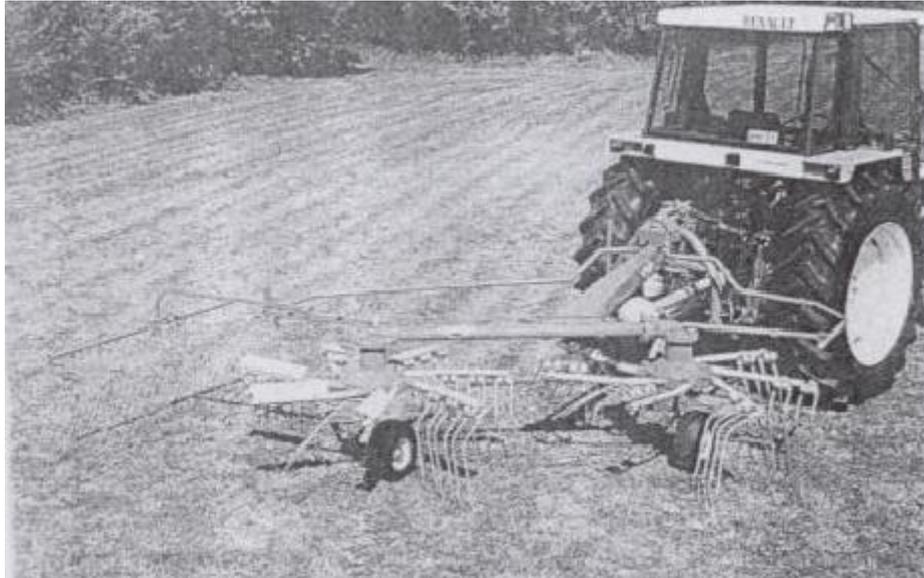
Planche allongée prolongeant le sabot extérieur vers l'arrière. Elle est montée oscillante pour rester en contact permanent avec le sol en dépit des inégalités de terrain. Placée obliquement à la manière d'un versoir, elle sépare le fourrage sur pied du fourrage coupé, en dégageant une bande du terrain où roulera par la suite une roue du tracteur au passage suivant sans écraser le fourrage coupé où glissera le sabot intérieur.

I.2. Le fanage et l'andainage:

Le fanage a pour objet d'accélérer le séchage de l'herbe qui contient environ 80% d'eau au moment de la coupe. L'opération consiste à soulever et à étaler mécaniquement le fourrage laissé au sol après la coupe dans le but de faciliter l'action du soleil et du vent.

L'andainage consiste à regrouper le fourrage, après la coupe ou le fanage, de manière à former sur le sol des lignes continues, soit pour protéger le produit de l'humidité nocturne, soit pour faciliter la reprise mécanique ultérieure en vue d'une autre opération (hachage, pressage, ou chargement).

Ces opérations peuvent être mécanisées à l'aide de matériel appelé faneurs, andaineurs (séparés), ou des faneurs-andaineurs (combinés).



Faneur andaineur rotatif

I.3. Le ramassage-pressage :

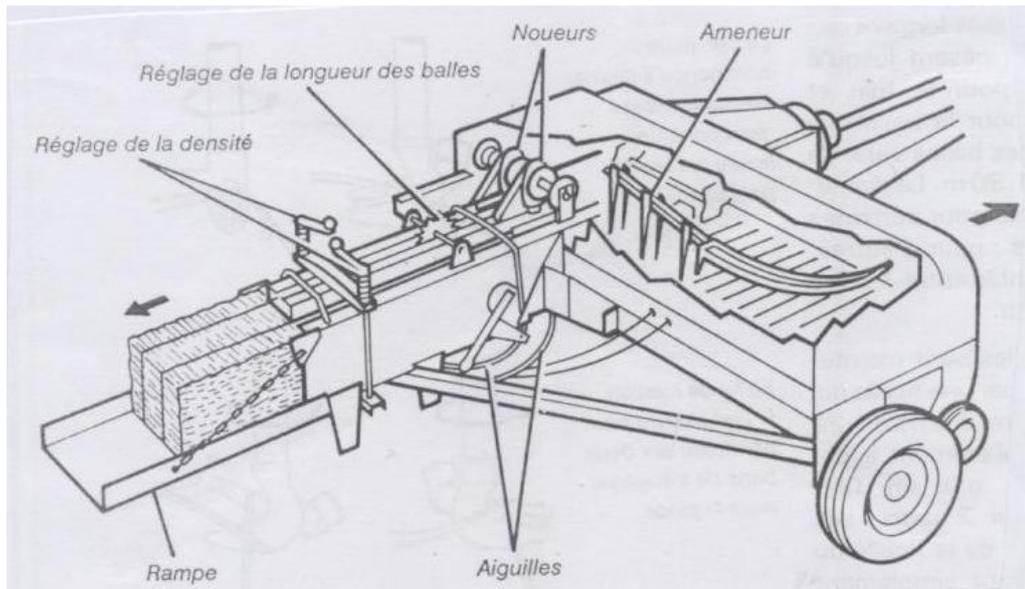
Cette opération qui complète les opérations précédentes est réalisée à l'aide de matériels appelés : ramasseuses-presses. Elle consiste à reprendre directement sur le sol un andain de fourrage pour confectionner les balles de formes et de volumes différents selon le type de machine.

I.3.1. Ramasseuse-presse à balles parallélépipédiques :

C'est une machine dont le rôle essentiel est d'effectuer une compression du fourrage, préalablement andainé, grâce à l'action d'un piston pour obtenir des balles compactes de forme parallélépipédique. Un organe antérieur dit pick-up, ramasse l'andain disposé au sol. Le produit est ensuite comprimé dans un canal, puis les balles formées sont liées avec de la ficelle.

Les ramasseuses-presses peuvent être classées suivant la densité des balles :

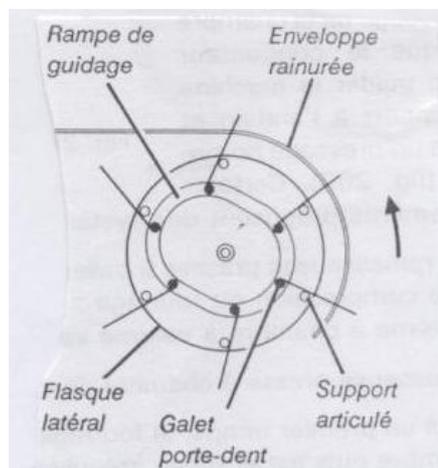
- **Haute densité** : 175 à 250 kg/m³ ; poids moyen des balles de 35 à 50kg.
- **Moyenne densité** : 100 à 175 kg/m³ ; poids moyen des balles de 15 à 35 kg.
- **Basse densité** : moins de 100 kg/m³ ; poids moyen des balles de 6 à 15 kg.



Constitution d'une ramasseuse presse à balles parallélépipédiques

Une ramasseuse-presse comprend principalement un ramasseur, des ameneurs, un piston et des noueurs.

A. Ramasseur ou pick-up : Organe qui réalise le ramassage de l'andain au moyen de dents métalliques, souples ou non, articulées sur des barres transversales reposant sur deux disques latéraux en rotation.



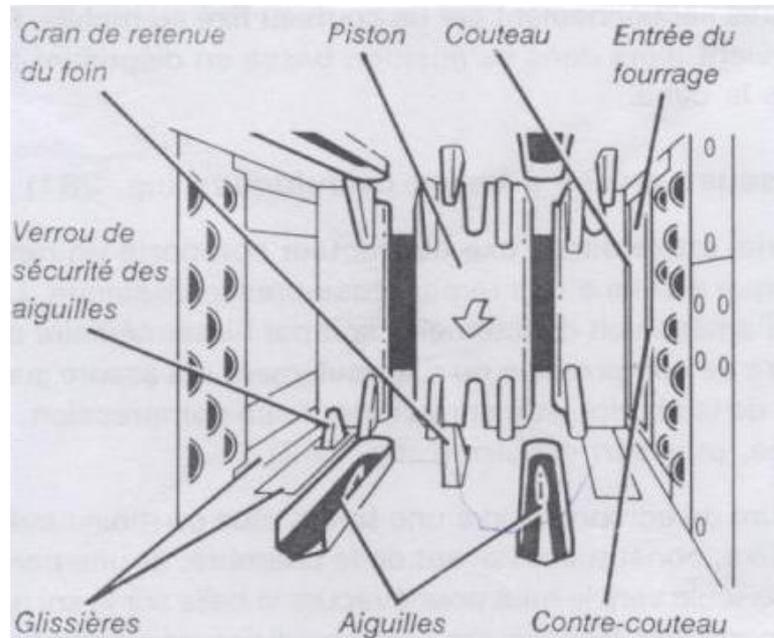
B. Les ameneurs :

Organes d'alimentation constitués d'une vis ou de fourches qui assurent l'acheminement du foin depuis la sortie du ramasseur jusqu'au niveau du canal de compression, pour l'engager devant le piston.

C. Le piston :

Le piston est formé d'un caisson cubique en forte tôle d'acier soudée, animé d'un système de bielle-manivelle et se déplaçant à l'intérieur du canal de compression suivant un mouvement rectiligne alternatif à la cadence de 60 à 90 coups/mn selon les machines.

Equipé de galets en métal, le piston coulisse sur des glissières d'acier disposées dans la partie inférieure du canal. Deux fentes verticales, ménagées dans la face de compression, laissent passer les aiguilles. Un couteau latéral sectionne le fourrage engagé par les ameneurs.

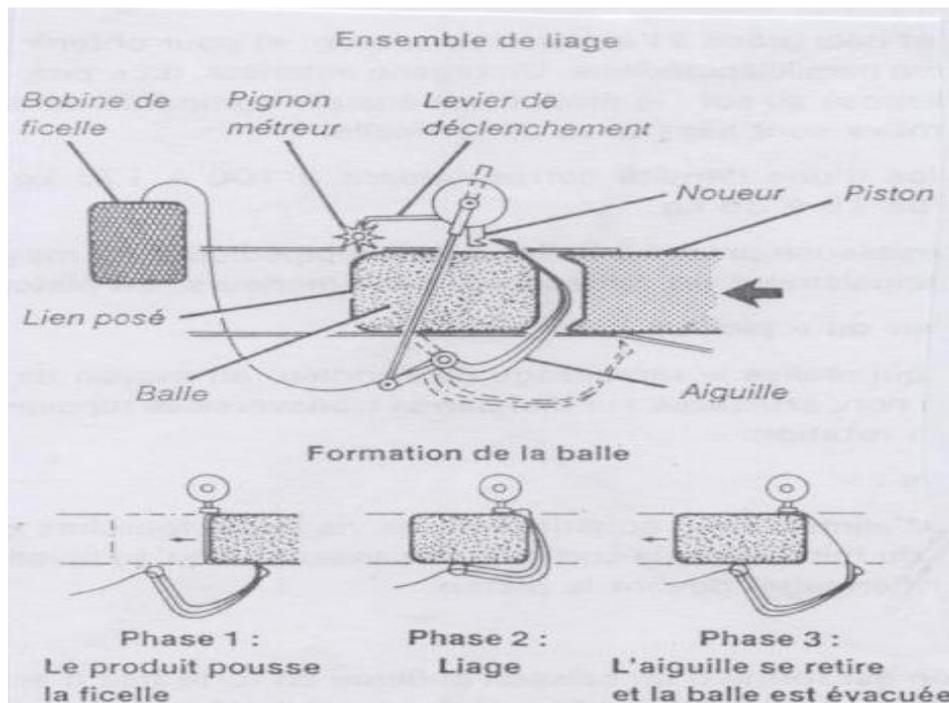


Vue intérieure du canal de compression d'une ramasseuse presse

D. Les noueurs :

Sur la partie terminale du canal, deux noueurs réalisent le liage des bottes. Le fonctionnement des noueurs peut se résumer de la manière suivante :

- Au début du cycle, les aiguilles sont en position basse et l'extrémité de la ficelle est coincée, à la partie supérieure du canal, dans un disque reteneur.
- Le fourrage, avançant sous l'action du piston, repousse le lien maintenu en haut par le disque reteneur, et la balle ainsi ceinturée continue à avancer. Son avancement actionne un pignon-mètreur qui, au moyen d'une came et pour une longueur de balle prédéterminée, agit sur un levier de déclenchement qui commande l'aiguille et le noueur.
- L'aiguille traverse alors le canal et présente la boucle du lien au bec du noueur. Ce bec prend la boucle et, en pivotant, exécute le nœud.
- Le brin libre du lien est retenu de nouveau par le disque reteneur après sectionnement par un couteau fixe ou mobile.
- Pour terminer le cycle, l'aiguille revient alors dans sa position basse en disposant de nouveau un brin de ficelle dans le canal.



III. 1. Les réglages :

Plusieurs réglages peuvent être effectués sur une ramasseuse-presse, spécialement celui de la densité et de la longueur des balles.

- Le réglage du ramasseur porte sur la hauteur de travail et l'inclinaison des dents. La hauteur doit assurer une garde au sol de 3 à 6cm, son réglage s'obtient grâce à un levier, une manivelle, ou une vis variant la tension d'un ressort compensateur.
- Il est possible de serrer plus ou moins des tôles latérales disposées à la sortie du canal de compression pour freiner ou faciliter la sortie du produit grâce à deux manivelles ou volants, ce qui permet de modifier la densité des balles.
- Une vis agissant sur le dispositif entraîné par le pignon-métreur permet de fixer le moment de déclenchement du liage. Ceci assure le réglage de la longueur des balles.

II. RECOLTE DES TUBERCULES :

Surtout destinées à la récolte de pomme de terre, les machines appelées aussi arracheuses doivent satisfaire deux conditions essentielles : soulever le volume de terre dans lequel les tubercules sont contenues et en extraire la récolte sans manque, ni blessures, puis nettoyer par tamisage le produit obtenu pour le séparer de la terre et des cailloux entraînés lors de l'arrachage.

L'arrachage des pommes de terre est souvent précédé d'un défanage préalable qui consiste à détruire la végétation externe (tiges et feuilles), appelée fanes. Le défanage préalable peut être pratiqué par voie chimique au moyen d'un pulvérisateur ou par voie mécanique en utilisant un

broyeur de fanes.

De toute manière, l'arrachage s'accompagne, sur les machines, d'un effanage final.

II.1. L'arracheuse de pomme de terre :

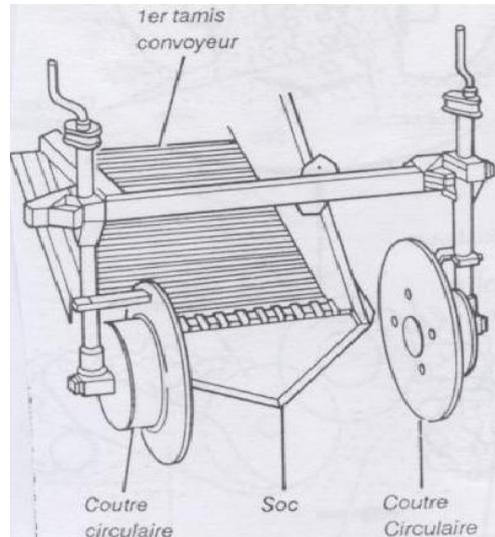
Le fonctionnement d'une arracheuse peut se résumer en cinq fonctions : l'arrachage, le tamisage, l'effanage final, le triage, et le chargement.

II.1.1. L'arrachage :

Il consiste à soulever la butte de terre où se trouvent les tubercules et de diriger le mélange de terre et de tubercules vers les mécanismes de tamisage. Le dispositif d'arrachage comprend des coutres circulaires latéraux et un soc horizontal qui découpe et soulève la butte. Un tambour ou diablo roule sur la butte un peu en avant du soc afin de mouler la terre pour faciliter son transfert vers les convoyeurs.

II.1.2. Le tamisage :

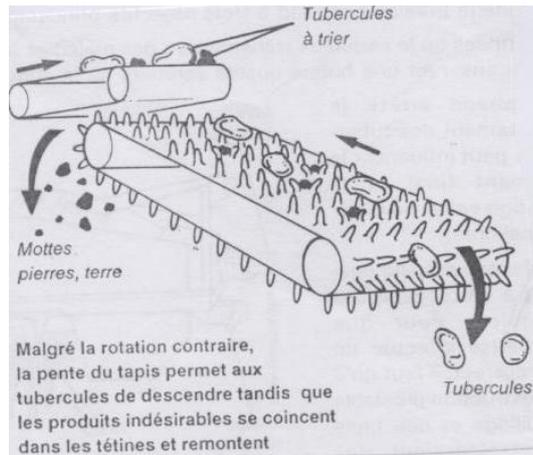
Il s'effectue grâce à des convoyeurs à chaînes et barreaux qui reçoivent la butte soulevée par le soc. Ces convoyeurs agissent comme des tamis animés qui retiennent les tubercules et laissent retomber la terre au sol. De plus, l'entraînement des chaînes peut d'effectuer grâce à des axes excentrés qui provoquent des secousses afin d'activer la séparation des mottes de terre.



Dispositif d'arrachage et de tamisage des tubercules

II.1.3. L'effanage final:

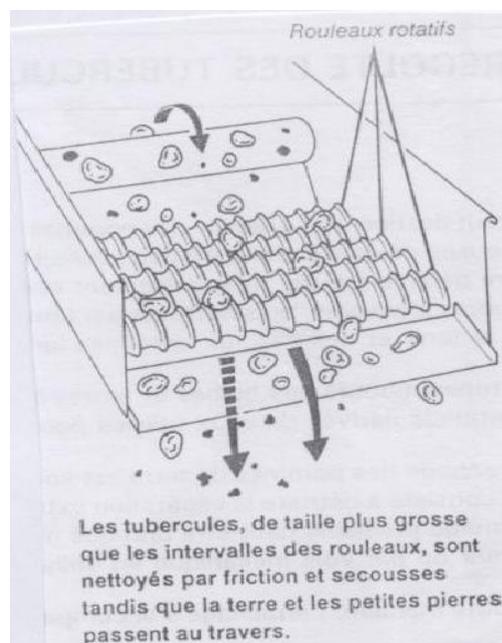
L'effanage classique est réalisé par un tapis oblique à gros doigts en caoutchouc, disposé à l'arrière de la machine, à la base duquel sont déversés les tubercules. Les fanes sont retenues par les doigts et rejetées à l'arrière.



Tapis de triage à tétines en caoutchouc

II.1.4. Le triage :

C'est l'opération la plus difficile à réaliser mécaniquement car les mottes ont une densité voisine de celle de la pomme de terre, et une forme souvent analogue. Différents principes sont utilisés : les petites mottes peuvent être éliminées par un déterreur composé de rangées de rouleaux, dont l'écartement est réglable. Les pierres et les mottes non friables peuvent être séparées des tubercules sur un tapis incliné à tétines. Les tubercules roulent tandis que les mottes et les pierres, de forme plus anguleuse, s'incrument entre les tétines et sont entraînés par la rotation du tapis sans fin vers un couloir à déchets.



Système de nettoyage à rouleaux crenels

II.1.5. Le chargement des tubercules :

Selon l'organisation du chantier et les caractéristiques de l'arracheuse, les tubercules peuvent être recueillis de deux manières :

- **Réception en trémie** : une trémie intégrée à l'arracheuse est vidée périodiquement à l'aide d'un convoyeur vers des remorques. Certains équipements permettent aussi l'ensachage sur l'arracheuse.
- **Evacuation simultanée** : l'arracheuse décharge la récolte dans une remorque qui avance en parallèle.

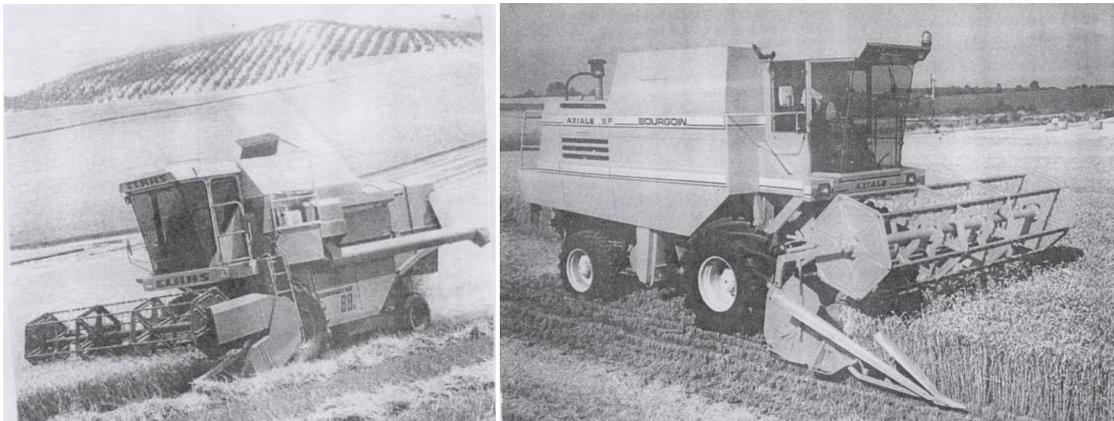
III. MATERIEL DE RECOLTE DES GRAINS :

La moissonneuse batteuse :

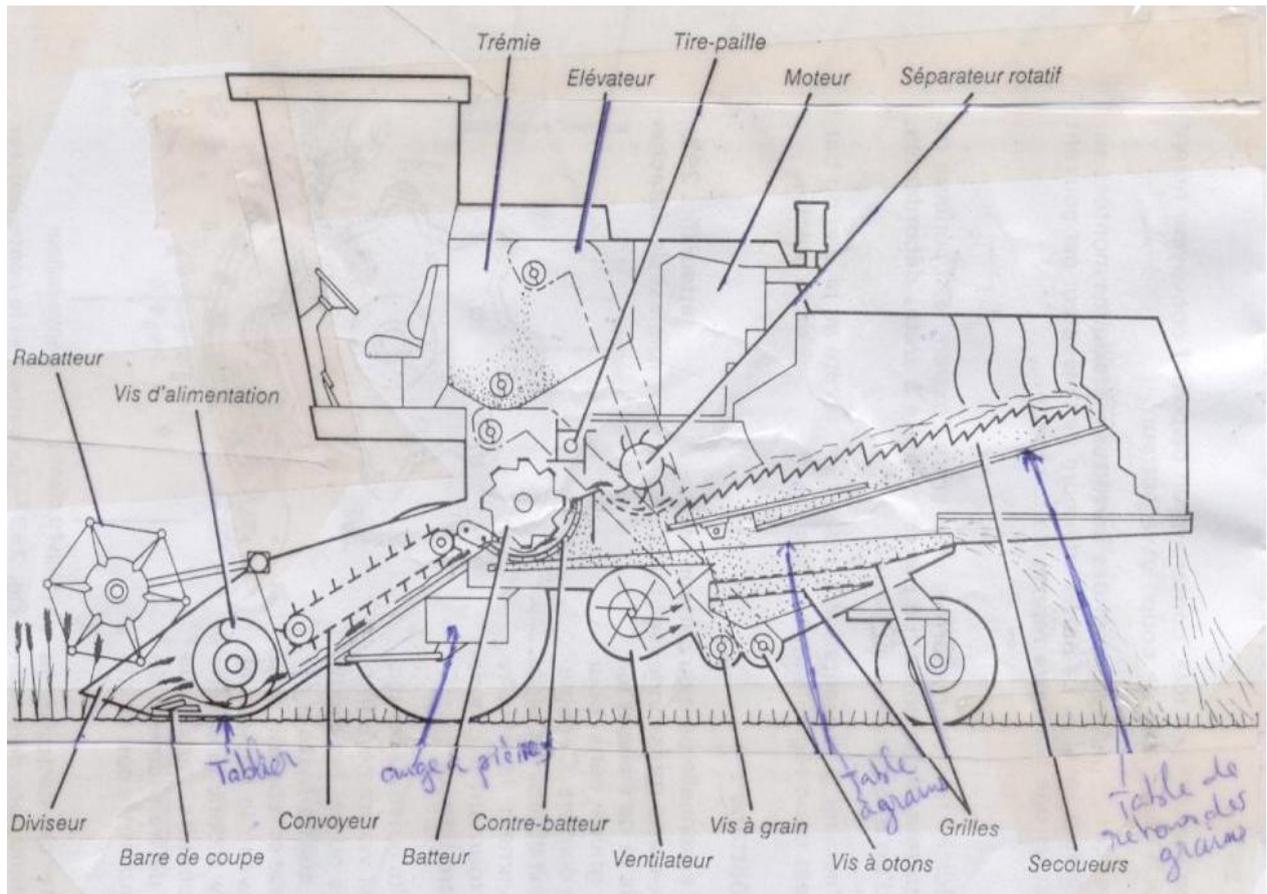
La moissonneuse-batteuse est une machine complète de récolte de grains qui effectue automatiquement et simultanément : la coupe, le moissonnage et le battage, puis la séparation et le nettoyage.

Les moissonneuses batteuses sont généralement automotrices. Elles stockent temporairement les grains obtenus, le plus souvent dans une trémie.

On trouve successivement, sur un châssis équipé de roues ou de chenilles, des organes de coupe, de transport et d'élévation, des organes de battage et de séparation, des organes de nettoyage, de récupération et de stockage des grains. En plus de certains équipements complémentaires fréquemment présents tels que les broyeurs et les éparpilleurs de paille.



Vue générale d'une moissonneuse batteuse



Vue en coupe d'une moissonneuse batteuse

I. Organes de coupe :

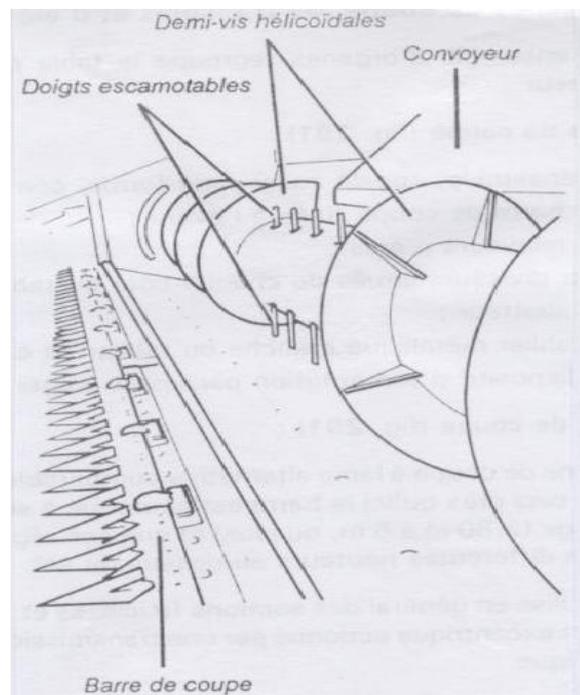
Cet ensemble d'organes regroupe : la table de coupe, un convoyeur et un engreneur.

I.1. La table de coupe : Cet ensemble appelé aussi plate-forme comprend :

- **Barre de coupe :** organe de coupe à lame alternative comparable à celui de la faucheuse à fourrage, mais ici la barre est soutenue à ses deux côtés, elle est plus large (2.80m à 6m, ou plus) et son réglage de position permet de travailler à différentes hauteurs au-dessus du sol. On utilise généralement des sections faucillées et la commande de lame est confiée à un excentrique actionné par une transmission mécanique ou par un moteur hydraulique. Le réglage en hauteur se fait au moyen de vérins hydrauliques qui actionnent l'ensemble de la table de coupe. Des ressorts puissants, placés sous la table de coupe, permettent d'amortir les oscillations dues aux dénivellations du terrain.
- **Diviseurs :** organes en tôle situés aux deux extrémités de la barre de coupe destinés à séparer, du reste de la récolte, la bande à couper par la machine afin d'éviter des enchevêtrements nuisibles à une tenue correcte des tiges au moment de la coupe. Leur position est réglable.
- **Rabatteur :** organe rotatif, placé au-dessus de la barre de coupe et qui, au moment de la coupe, maintient les tiges jusqu'à leur passage sur les organes transporteurs. Le rabatteur est constitué de

six barres articulées munies de doigts flexibles (ou griffes) toujours parallèles entre elles et dirigées vers le sol, mais selon une inclinaison préalablement réglable. La position du rabatteur par rapport à la barre de coupe et aux organes de transport, ainsi que sa vitesse de rotation, conditionnent le fonctionnement régulier du système de coupe. Son réglage s'effectue au moyen de vérins hydrauliques.

- **Tablier** : paroi métallique située entre la barre de coupe et le dispositif d'alimentation dans lequel tombe la récolte coupée.
- **Vis d'alimentation** : cylindre horizontal comprenant sur chacun de ces côtés une demi-vis hélicoïdale et au centre une série de doigts escamotables. Les deux demi-vis de pas inverse rassemblent la récolte au centre du tablier et les doigts la dirigent vers l'élévateur convoyeur.



Vue de la barre de coupe et vis d'alimentation

I.2. Convoyeur :

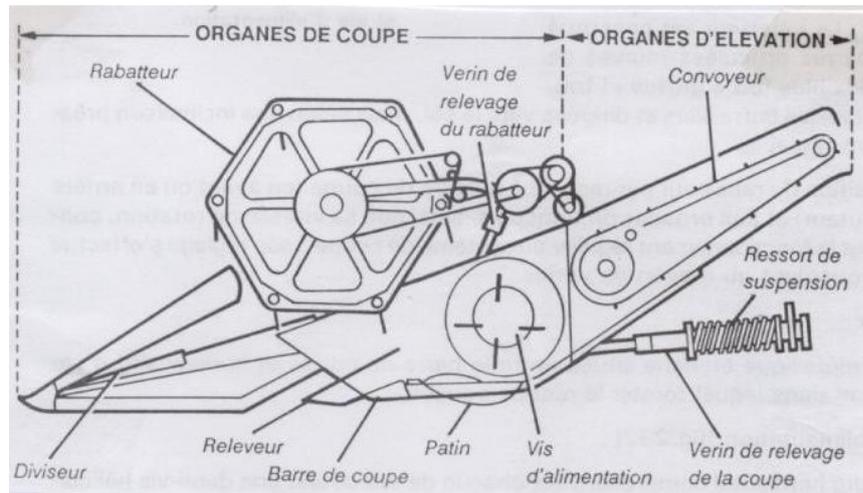
C'est un caisson étanche, en tôle, contenant un dispositif convoyeur reliant la vis d'alimentation de la table de coupe et le batteur.

Il comprend généralement des barrettes métalliques montées sur deux ou trois chaînes parallèles. La partie inférieure de l'élévateur est souvent flottante pour assurer une meilleure reprise de la récolte.

I.3. Engreneur :

Organe intermédiaire très court, parfois situé entre l'extrémité supérieure du convoyeur et le batteur. Il est constitué par un cylindre à arête débordante, tournant autour d'un axe parallèle au batteur. Il a pour rôle d'assurer la présentation forcée de la récolte au niveau du batteur. Sa vitesse

est donc réglable en fonction de la densité de la récolte.



Vue des organes de coupe et d'élévation

II. Organes de battage :

Il s'agit essentiellement du batteur associé au contre-batteur, organes centraux d'une moissonneuse-batteuse. Leur rôle est de détacher les grains des épis et de froisser les enveloppes des grains sans les abîmer. Cet égrenage mécanique est obtenu en engageant progressivement la récolte entre le batteur tournant à grande vitesse et le contre-batteur. Lorsque la récolte arrive au contact du batteur, elle est violemment frappée par les battes ou par les doigts et projetée sur le contre-batteur où elle se froisse, rebondit pour rencontrer de nouveau le batteur et ainsi de suite. Il y a donc une série de chocs successifs auxquels s'ajoute un effet froissement dû aux aspérités ou aux stries des doigts. Il suffit ensuite de nettoyer le mélange ainsi obtenu, par des opérations de secouage et de ventilation, pour séparer les grains de la paille, et des impuretés.

II.1. Le batteur :

Cylindre plein ou à claire-voie muni en général de 6 à 8 battes disposées en saillies à sa périphérie et orientées parallèlement à son axe. La vitesse du batteur est comprise entre 400 et 1600 tr/mn, suivant la nature de la récolte et son humidité. Le batteur doit avoir une vitesse périphérique lui permettant de séparer des épis la plus grande partie possible des grains. Mais on est limité par le risque de casse des grains ; ces deux exigences contradictoires conduisent à adopter des valeurs de la vitesse périphérique comprises entre 20 et 30 m/s pour les céréales. Le réglage de cette vitesse s'opère au moyen d'un variateur à courroie à commande hydraulique.

II.2. Le contre-batteur :

Cet élément qui peut être plein ou ajouré enveloppe partiellement la partie basse du batteur, l'espace libre entre ces deux organes étant plus étroit à l'arrière qu'à l'avant. Il porte des contre-battes et un réseau de fils métalliques appelés joncs. L'écartement entre le batteur et le contre-batteur est

réglable de manière à être d'autant plus réduit que le produit est difficile à battre (les grains de dimensions plus petites ou d'humidité plus élevée). Ce réglage peut s'opérer à l'arrêt en agissant sur le point de fixation du contre-batteur, ou en marche par un moyen mécanique.

II.3. L'auge à pierres :

Placée avant l'entrée du batteur, elle recueille les pierres qui auraient pu être entraînées avec la récolte.

II.4. Le tire-paille :

Sorte de tambour garni d'arrêtes ou rotor à griffes souples, en rotation autour d'un axe parallèle au batteur, ayant pour rôle de dégager la paille battue qui sort du batteur. Le régime du tire-paille est souvent réglable afin d'assurer une alimentation régulière des secoueurs.

II. Organes de séparation, de nettoyage et de récupération du grain :

A la sortie du batteur, la récolte est schématiquement divisée en deux catégories de produits de densité différente :

- Vers le haut, entraînée par la vitesse du batteur, sortent des pailles aux quelles sont encore attachées quelques grains.
- Vers le bas, parce que plus lourd, sort un mélange de grains et de petites impuretés.

La séparation entre les deux catégories de produits issus du batteur s'opère au moyen d'un peigne placé à la suite du contre-batteur, à la sortie du batteur de telle manière que le tire-paille travaillant juste au-dessus entraîne les pailles aux secoueurs et que le mélange de grains et de petites impuretés tombe, au travers du peigne, sur la table à grains pour atteindre les organes de nettoyage.

III.1. Les secoueurs :

Les secoueurs ont pour objet d'extraire de la paille battue les derniers grains qui y subsistent, pour les renvoyer dans le circuit de nettoyage. Ils sont constitués de panneaux inclinés en tôle et comportent des crans qui assurent le déplacement du produit.

Ces organes sont des cribles disposés en pente croissant du contre-batteur vers l'arrière de la machine. Ils sont animés d'un mouvement rapide d'oscillations longitudinales, à raison de 200 à 250 coups par minute, d'avant en arrière et de bas en haut grâce à leur entraînement par un arbre vilebrequin.

La paille battue chemine sur ces cribles, les grains extraits passent au travers des plans ajourés des secoueurs pour rejoindre ainsi le dispositif de nettoyage, en même temps que d'autres petits éléments (déchets).

III.2. Table de retour du grain :

Plan incliné qui recueille le mélange de grains et de déchets ayant traversé les secoueurs et qui les dirige vers la table à grain du système de nettoyage.

III.3. Organes de nettoyage :

Ces organes ont pour objet de nettoyer le mélange qui revient des secoueurs.

Les organes de nettoyage, de récupération et de stockage de grains comportent :

- **Table à grains** : sorte de grille ou tôle inclinée recevant le grain provenant du battage et le mélange issu des secoueurs.
- **Caisson de nettoyage ou nettoyeur** : ensemble abritant les organes de nettoyage et de récupération des grains, généralement placé sous les organes de battage et de secouage. Cet ensemble comporte essentiellement les grilles de nettoyage proprement dites ainsi qu'un ventilateur.
- ✓ **Grille de nettoyage ou cribles** : deux ou trois grilles superposées sont animées de secousses rapides. La grille supérieure, dite grille à otons ou écran à menues pailles, retient les menues pailles, les balles et les otons les plus gros. Un courant d'air entraîne les balles et les menues pailles à l'arrière de la machine. Les otons qui ne traversent pas cette première grille, tombent du fait de leur poids et des secousses au bout de la grille dans un auget à otons. Ceux qui traversent la grille, tombent sur la seconde grille de nettoyage. Cette dernière dite grille de finition, retient les derniers otons et ne laisse passer que les grains propres ; le courant d'air évacue les otons vers l'auget à otons ; le grain propre est recueilli dans un auget à grains. La grille inférieure à souvent des orifices de dimension réglable.
- ✓ **Ventilateur** : un ventilateur centrifuge à palettes radiales, envoie un courant d'air réglable en débit et en direction au travers des grilles de manière à faciliter la séparation et l'entraînement des éléments les plus légers ou les plus volumineux. Cet appareil est placé à l'avant du caisson de nettoyage ; des déflecteurs orientables permettent de diriger l'air.

IV. Organes de récupération du grain :

IV.1. Auget à otons :

C'est une gouttière étanche, dans laquelle tourne une vis d'Archimède de reprise, située à l'arrière des grilles de nettoyage de manière à recueillir les otons qui tombent à leur extrémité.

IV.2. Auget à grains :

C'est une gouttière étanche, dans laquelle tourne une vis d'Archimède de reprise, qui reçoit les grains en provenance de la grille de finition du nettoyage et qui est donc placée au-dessous de cette grille.

IV.3. Elévateur à otons :

Vis sans fin ou chaîne à godets qui prend les otons du bas de la hotte de nettoyage, à une extrémité de l'auget à otons , pour les introduire dans le batteur.

IV.4. Elévateur de grains :

Elévateur à vis, à chaîne ou à godets, qui prend, à une extrémité de l'auget à grains, le grain pour

l'acheminer vers la trémie de stockage.

IV.5. Trémie de stockage :

Conteneur étanche en tôle, placé sur la moissonneuse-batteuse et recevant le grain propre issu du nettoyage, avant son évacuation périodique, par une goulotte de vidange, dans un véhicule de transport.

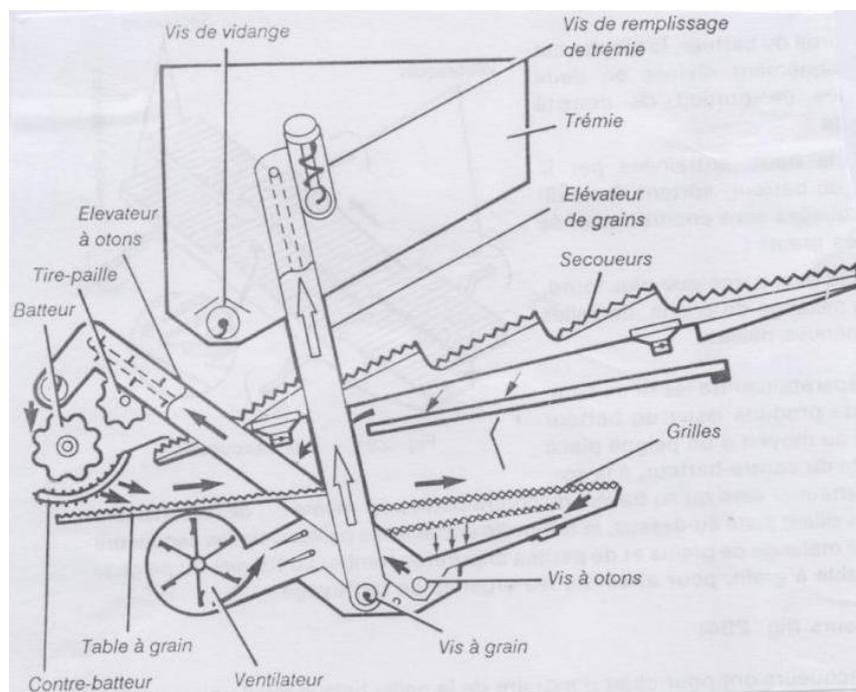
IV.6. Goulotte de vidange :

Goulotte orientable, munie d'une vis de convoyage destinée à vidanger à la demande la trémie, en dirigeant le grain vers une benne. La vidange peut se faire à l'arrêt ou durant la marche.

Les mécanismes orientant la goulotte sont mécanique ou à commande hydraulique.

IV.7. Plate-forme d'ensachage :

Dispositif en voie de disparition qui permettait, sur les petites moissonneuses-batteuses tractées et les premières moissonneuses-batteuses automotrices, de remplir des sacs au fur et à mesure du travail. En général, il s'agit d'un trieur-ensacheur assurant un second nettoyage et comportant un dispositif de fixation prévu pour deux sacs, l'un en cours de remplissage, l'autre en cours de fermeture et de remplacement par un autre.



Vue des organes de battage, séparation, nettoyage et récupération des grains

V. Les équipements complémentaires :

Les moissonneuses-batteuses de céréales conventionnelles sont parfois munies d'équipements complémentaires tels que les éparpilleurs et les broyeurs de paille.

V.1. Eparpilleur de paille :

C'est un simple rotor à axe vertical qui tourne assez lentement à la sortie des secoueurs et dont les branches (au nombre de 2 ou 3), garnies de palettes, dispersent la paille, au fur et à mesure qu'elle sort de la machine de manière à faciliter son enfouissement ultérieur.

V.2. Broyeur de paille :

Porté à l'arrière de la moissonneuse-batteuse à la sortie des secoueurs, hache la paille avant de l'éparpiller. Le modèle le plus courant comporte un rotor à axe horizontal muni de couteaux circulant entre une série de contre-couteaux fixes. Un déflecteur permet de régler l'épandage.

Les broyeurs absorbent une puissance relativement importante qui peut ralentir le débit de la moissonneuse-batteuse, notamment dans le cas où les pailles sont trop humides. C'est pourquoi sa mise hors circuit peut s'effectuer facilement.

