



MAQUINARIA AGRÍCOLA

Tractor, preparación del suelo y siembra



Emilio Gil
ESCOLA SUPERIOR D'AGRICULTURA DE BARCELONA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

LAS CARACTERÍSTICAS Y LA EFICACIA DE LOS TRACTORES. *Páginas 4 a 14*

TRACCION Y ACCIONAMIENTO DE APEROS. *Páginas 15 a 24*

CONSTITUCIÓN, PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS. *Páginas 26 a 37*

LA SIEMBRA Y LA ARQUITECTURA DE LAS SEMBRADORAS. *Páginas 39 a 49*

**LAS CARACTERÍSTICAS Y LA EFICACIA DE LOS
TRACTORES**

EL PAR MOTOR

En un motor, la presión de los gases de combustión provocan en cada pistón un empuje que se transmite al cigüeñal a través de la biela. Este empuje del pistón crea **una fuerza (F)** y el cigüeñal constituye un brazo (*l*). La influencia de esta fuerza en relación a la longitud de este brazo se define por el producto $F \times l$, denominado **momento de una fuerza**.

Según el principio fundamental de la mecánica: **acción = reacción**, un motor no puede generar un par (acción) sino existe un **par resistente** (reacción). Así, el par motor está ligado al par resistente que es consecuencia del esfuerzo de trabajo solicitado al motor. El par máximo de un motor depende de la cilindrada, del índice de llenado de los cilindros, de la calidad de la combustión y de la cantidad de carburante inyectada por la bomba de inyección.

Para la medida del par motor se utiliza un banco de ensayos denominado freno dinamométrico. Una rueda de radio *r*, solidaria al eje motor, está abrazada por las zapatas regulables de un freno. Un brazo de longitud *R*, conectado firmemente al freno, puede moverse dentro de un cierto ángulo y llevar, pendiente de su extremo libre, un peso *F*. Cuando el eje motor gira, el rozamiento de la rueda con las zapatas del freno genera un momento que tiende a hacer girar el brazo, el cual es mantenido en equilibrio por dicho freno, a causa del peso aplicado en el extremo.

Un punto cualquiera situado en la periferia de la rueda unida al eje motor realiza, durante cada revolución de este, un recorrido igual a:

$$2\pi r \quad [1]$$

Y así el trabajo de la fuerza tangencial de rozamiento *f* viene dado por

$$2\pi r f \quad [2]$$

Pero el producto $r f$ es el momento aplicado al freno del eje motor que, como ya hemos visto, está equilibrado con el correspondiente a **RF**, producido por el peso colocado en el extremo del brazo. Por tanto, el trabajo absorbido por el freno en cada revolución del eje motor vale:

$$2\pi R F \quad [3]$$

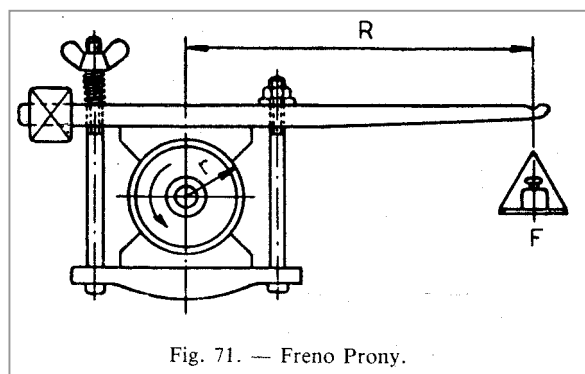


Fig. 71. — Freno Prony.

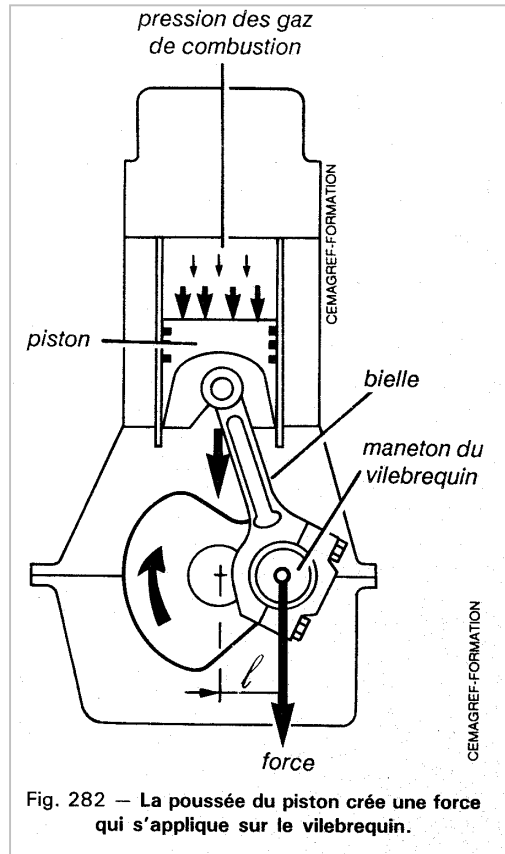


Fig. 282 — La poussée du piston crée une force qui s'applique sur le vilebrequin.

LA POTENCIA

La potencia mecánica desarrollada realmente por un motor se expresa en vatios o en kilovatios y es el producto aritmético del par por la velocidad angular (ω) correspondiente:

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{Par (N.m)} \times \omega}{1000} \quad [4]$$

La velocidad angular o velocidad de rotación se debe diferenciar de la velocidad leída en el tacómetro (régimen del motor) que se expresa en vueltas por minuto (rpm). La velocidad angular ω se expresa en radianes por segundo (rd/s).

Una vuelta o 360° equivale a 2π radianes, y una vuelta por minuto a 2π rd/s / 60

La potencia puede entonces expresarse como:

$$\text{Potencia (w)} = \text{Par (N.m)} \times \frac{2\pi n}{60} \text{ (rpm)} \quad [5]$$

EL CONSUMO ESPECIFICO

El consumo de energía para la producción de trabajo mecánico representa un elemento de la máxima importancia en todas las operaciones agrícolas que requieran el uso de algún tipo de motor, en cuanto que constituye uno de los factores de producción.

Refiriéndonos al motor térmico de combustión interna, se define como **consumo unitario** de combustible o **consumo específico** la **cantidad de combustible requerida por el motor por cada unidad de trabajo** realizado en determinadas condiciones. En general, el consumo específico se expresa en **gramos por kilowatio-hora** (g/kWh). Por lo tanto, este parámetro puede considerarse como un **indicador del rendimiento** del motor ya que relaciona la cantidad de energía consumida para obtener una unidad de energía.

Conociendo el consumo específico es fácil calcular el rendimiento total.

Sabemos que $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$, por lo que $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$

Si C_s es el consumo específico (g/kWh) y H_i el poder calorífico del combustible (kJ/kg), el trabajo equivalente al consumo de combustible por kWh generado viene expresado:

$$\frac{C_s \times H_i}{1000} \text{ (kJ/kWh)} \quad [6]$$

Y para calcular el rendimiento, tendremos que dividir la energía generada entre la energía consumida. Si estamos generando 1 kWh, será:

$$\eta = 1 \text{ kWh} / [6] \quad [7]$$

O lo que es lo mismo:

$$\eta = \frac{3600000}{C_s \times H_i} \quad [8]$$

El consumo específico es una expresión del rendimiento de un motor ya que permite comparar la energía absorbida (gramos de carburante con un poder calorífico conocido) con la energía mecánica generada (kW.h). Para los motores diesel, este rendimiento puede expresarse también de la siguiente forma:

$$R \% = \frac{82}{C_s} \times 100$$

Cuanto menor es el consumo específico, mayor es el rendimiento!!!

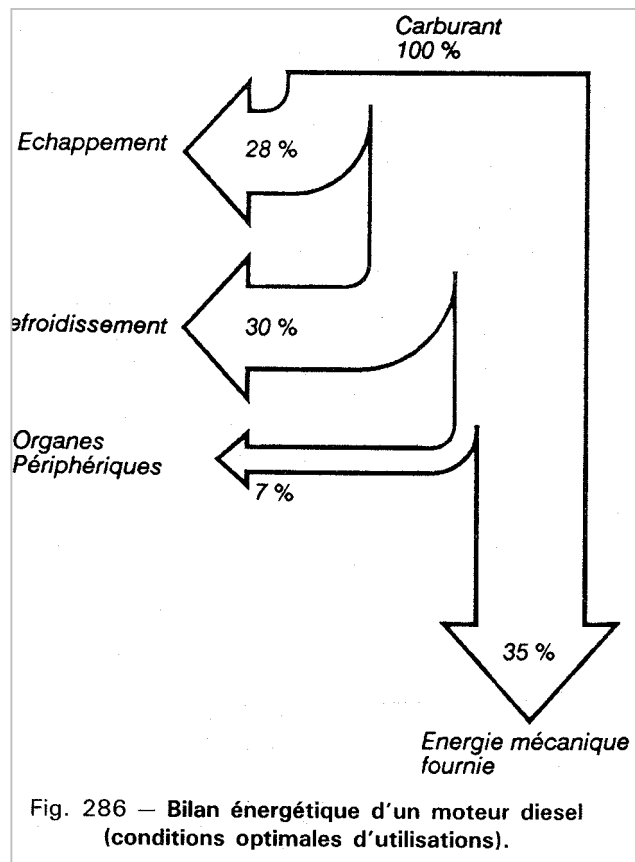
El motor perfecto que transforma toda la energía que consume en trabajo no existe. El funcionamiento de un motor térmico se traduce inevitablemente por una serie de **pérdidas térmicas directas, pérdidas térmicas indirectas y pérdidas mecánicas**:

- **Las pérdidas térmicas directas** son las que resultan del calor intercambiado en los sistemas de refrigeración y de escape.

- **Las pérdidas térmicas indirectas** son esencialmente producidas por el rozamiento interno del motor que se transforman también en calor.

- **Las pérdidas mecánicas** son las que se desprenden del accionamiento de los órganos indispensables del motor

El **rendimiento** de los motores diesel alcanza valores medios del 35%, lo que significa que solo transforman en energía el 35% de la energía que consumen. Este valor corresponde a una utilización óptima y puede ser mucho menor si el motor está mal utilizado. En la figura adjunta se puede apreciar el reparto de las pérdidas.



CURVAS CARACTERÍSTICAS

La representación gráfica de los tres parámetros analizados anteriormente es lo que se conoce con el nombre de curvas características de un motor.

Estas representan las variaciones cuantitativas del par motor(M), de la potencia (N) y del consumo específico (Cs) en función de la velocidad de giro del motor.

En un motor ideal, el consumo horario sería proporcional a la velocidad del motor, ya que la cantidad de combustible inyectada en cada ciclo debería ser la misma. Por el mismo motivo, el par motor debería ser constante, la potencia proporcional a la velocidad y el consumo específico constante.

En realidad, las curvas características que se obtienen en un ensayo de potencia al freno tienen una forma mucho más irregular.

Hay que señalar que las curvas características que vamos a estudiar a continuación se definen a plena carga, es decir, en la posición de la cremallera de la bomba de inyección que suministra la máxima cantidad de combustible.

En la realidad las curvas son como las que aparecen en la figura.

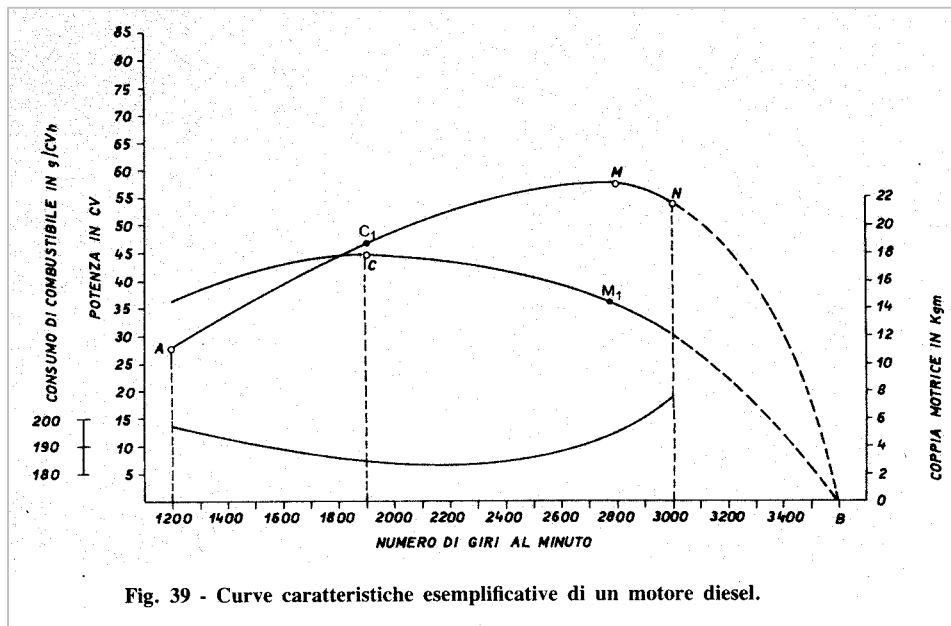


Fig. 39 - Curves características exemplificative di un motore diesel.

Examinando las curvas podemos apreciar como la potencia aumenta con el número de revoluciones hasta un valor máximo (punto M), a partir del cual disminuye. Pero el aumento de potencia no es directamente proporcional al número de revoluciones, como podría deducirse de la expresión:

$$\text{Potencia} = \frac{V \times p \times n}{K}$$

porque la presión media en la cabeza del pistón no se mantiene constante; esta varía al variar el número de revoluciones por cuanto varían los factores que influyen sobre ella.

El punto N representa el valor de la potencia al régimen máximo permitido por los órganos del motor. Si avanzamos a la derecha de N (línea de puntos) la potencia continúa disminuyendo hasta anularse totalmente en B, pero en la práctica esta determinación no se realiza.

La pérdida de potencia hacia la derecha del punto M es debida a la rápida disminución del rendimiento volumétrico y del rendimiento mecánico, el cual se reduce con el número de revoluciones.

Además, las resistencias que ofrecen las partes mecánicas en movimiento, el bombeo y las necesarias para el accionamiento de los órganos auxiliares aumentan notablemente con la velocidad elevada, con una progresión cada vez mayor, tanto que absorberían en el hipotético punto B todo el trabajo producido por la expansión del gas en el cilindro sin dejar ningún margen disponible en el cigüeñal para su utilización.

El punto A indica el límite de revoluciones por debajo del cual el motor no es capaz de vencer el momento resistente, ya que a causa de la baja velocidad de rotación la carburación (o la temperatura al final de la compresión) son insuficientes por cuanto el aire, al comprimirse lentamente permanece mucho

más tiempo en contacto con la pared del cilindro y cede a través de las paredes gran parte del calor de compresión.

Durante la marcha en A, toda la potencia desarrollada en el cilindro se absorbe por las resistencias pasivas y el rendimiento mecánico (relación entre el trabajo indicado y el trabajo efectivo) resulta nulo.

Como se aprecia en el diagrama, el régimen de giro correspondiente a la potencia máxima (punto **M**) no es el mismo en el cual se verifica el par máximo (punto **C**). En general este último es más bajo.

El **par máximo** se verifica al régimen en el cual el rendimiento total es máximo, y depende, para cada motor, de las características constructivas.

Por otra parte el régimen de máxima potencia resulta superior al de par máximo porque, a velocidades superiores a las correspondientes al punto C, aunque disminuye el par, aumenta el número de revoluciones y según la expresión de la potencia [5], al ser el aumento de revoluciones superior a la disminución del par, existe incremento de potencia. Esto se produce hasta que la reducción del par es superior al incremento de revoluciones (punto M).

Se aprecia pues que, partiendo del régimen de giro máximo (n_{max}) y desplazándonos hacia la zona de régimen más bajo, el par motor aumenta. Este hecho es de gran utilidad para situaciones de tracción y se analizará posteriormente en el apartado de **reserva de par**. Por este comportamiento se dice que un motor es ELÁSTICO.

Del examen de las curvas características se puede establecer el intervalo adecuado para la utilización del motor. Es obvio que este intervalo estará comprendido entre el régimen de giro al cual corresponde el par motor máximo (punto C) y el correspondiente a máxima potencia (punto M). La utilización resultará ideal si además se sitúa en el intervalo de menor consumo específico.

Un motor que tuviera una variación paralela de la potencia y del par no podría ser utilizado en vehículos agrícolas ya que al mínimo obstáculo se pararía, con la inmediata consecuencia de obligar al tractorista a cambiar de relación en la caja de cambios.

LA RESERVA DE PAR

Se trata de una de las características más importantes utilizadas para definir las características del motor de un tractor. Indica, en porcentaje, la reserva de par que un motor dispone cuando este funciona al régimen de potencia nominal:

$$\% \text{ Reserva de Par} = \frac{\text{Par Máximo} - \text{Par a Potencia Nominal}}{\text{Par a Potencia Nominal}} \times 100$$

Ejemplo: Un motor que tenga un par de 300 Nm a potencia nominal y un par máximo de 390 Nm, dispone de una reserva de par de:

$$\frac{390 - 300}{300} \times 100 = 30\%$$

La reserva de par permite al motor el soportar un aumento porcentual de la carga solicitada, sin que el conductor se vea obligado a cambiar de velocidad, en trabajos de tracción, o a reducir el avance para el caso de trabajos con la tdf. Cuanto menor sea la reserva de par de un motor, mayor deberá ser el número de relaciones de la caja de cambios. Según los casos, los motores de los tractores pueden presentar reservas de par que pueden variar de un modelo a otro entre el 5 y el 50%; los valores comprendidos entre 15 y 35% son considerados como buenos, y por encima del 35% muy buenos (muy poco frecuentes).

EL INTERVALO DE UTILIZACIÓN

El intervalo de utilización de un motor corresponde a la variación del régimen entre el punto de potencia nominal y el punto de par máximo. supongamos un motor cuyo régimen nominal es de 2300 rpm y el régimen de par máximo es de 1600 rpm. El intervalo de utilización será:

$$2300 - 1600 = 700 \text{ rpm}$$

CRITERIOS DE SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN

El tractor y el apero deben constituir un conjunto homogéneo. Para estar seguros de elegir un tractor adecuado a las necesidades es necesario conocer, entre otras cosas, las características constructivas y de funcionamiento del motor y de la caja de cambios (especialmente por lo que hace referencia al número de relaciones y al escalonamiento).

- **Conocer el consumo del motor**

La consulta de las curvas características de un motor es muy útil ya que permite conocer las características de funcionamiento del motor a plena carga y al régimen normalizado de la toma de fuerza : par, potencia, consumo horario y consumo específico.

Tomemos un ejemplo: Se necesita adquirir un tractor de 68 kW aproximadamente, y se prevé una utilización anual de unas 700 horas, 300 de las cuales funcionará a un régimen elevado y 400 a régimen medio. La utilización de las curvas características permite elegir correctamente entre un tractor A y un tractor B:

La tabla muestra que los dos tractores presentan una potencia máxima y un consumo específico muy similares; sin embargo los consumos a carga parcial difieren sensiblemente.

Ensayo de dos horas a potencia máxima			Consumos a carga parcial		
Tractor	Potencia (kW)	Régimen (rpm)	Consumo específico (g/kWh)	A régimen elevado (l/h)	A régimen medio (l/h)
A	68	2200	255	18,46	11,80
B	67,6	2461	253	20,15	13,08

En la hipótesis de una utilización del tractor según el planing previamente definido, el cálculo teórico de los consumos anuales se establece de la siguiente forma:

- tractor A:

$$18,46 \text{ l/h} \times 300 \text{ h} + 11,80 \text{ l/h} \times 400 \text{ h} = 10258 \text{ litros}$$

- tractor B:

$$20,15 \text{ l/h} \times 300 \text{ h} + 13,08 \text{ l/h} \times 400 \text{ h} = 11277 \text{ litros}$$

Para la hipótesis establecida, la elección del tractor A puede suponer un ahorro de combustible de 1019 litros por año, con relación al tractor B.

- Evaluar la reserva de par

La reserva de par, como ya hemos indicado, permite al tractor soportar una sobrecarga pasajera o puntual. Pero es importante recordar que la comparación de las reservas de par de dos motores, expresadas en porcentaje, solo es posible cuando los dos motores tengan regímenes nominales comparables.

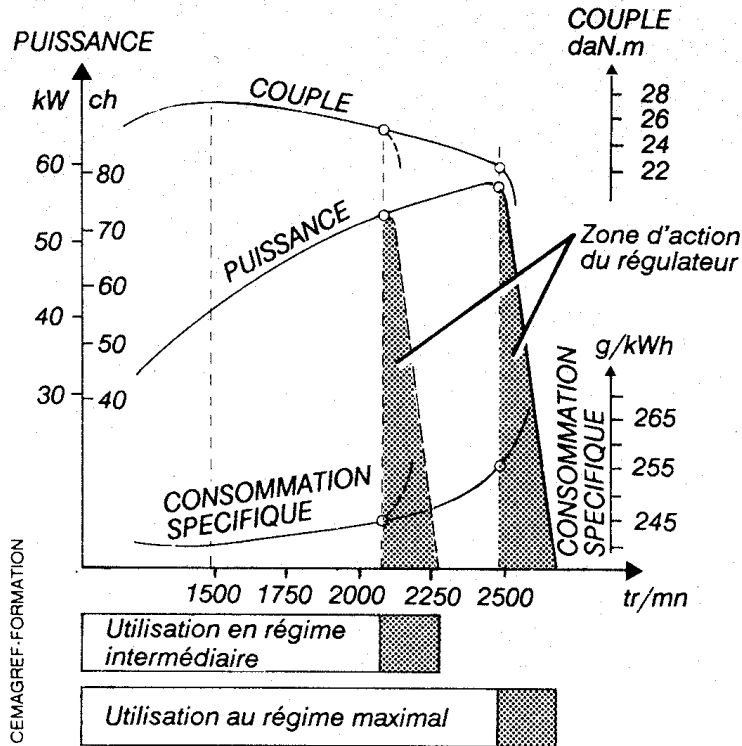


Fig. 295 — Courbes caractéristiques à régime intermédiaire.

Para salvar una situación de esfuerzo suplementario puntual, el tractor A se adapta mejor que el tractor B: su reserva de par es más importante, 26% frente al 13%. Encajará mejor las variaciones de esfuerzo sin necesidad de cambiar la velocidad.

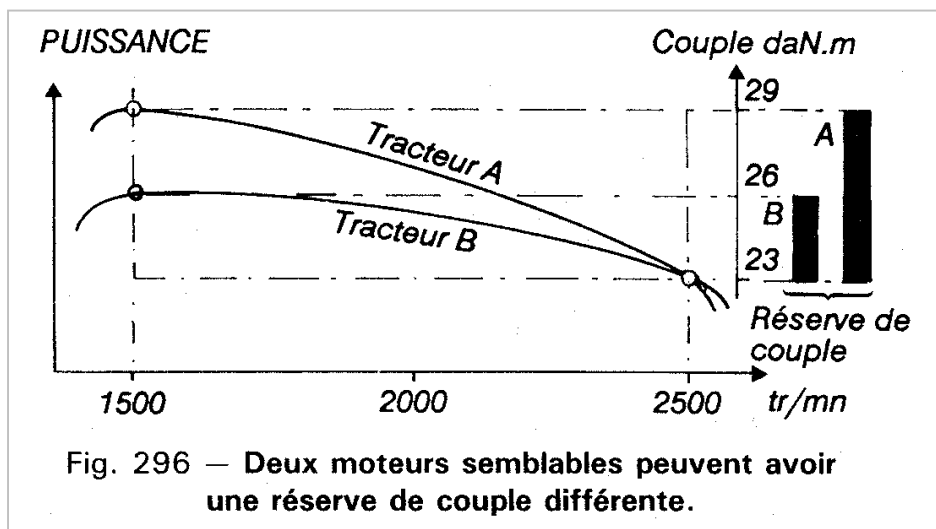


Fig. 296 — Deux moteurs semblables peuvent avoir une réserve de couple différente.

- Tener el cuenta el intervalo de utilización

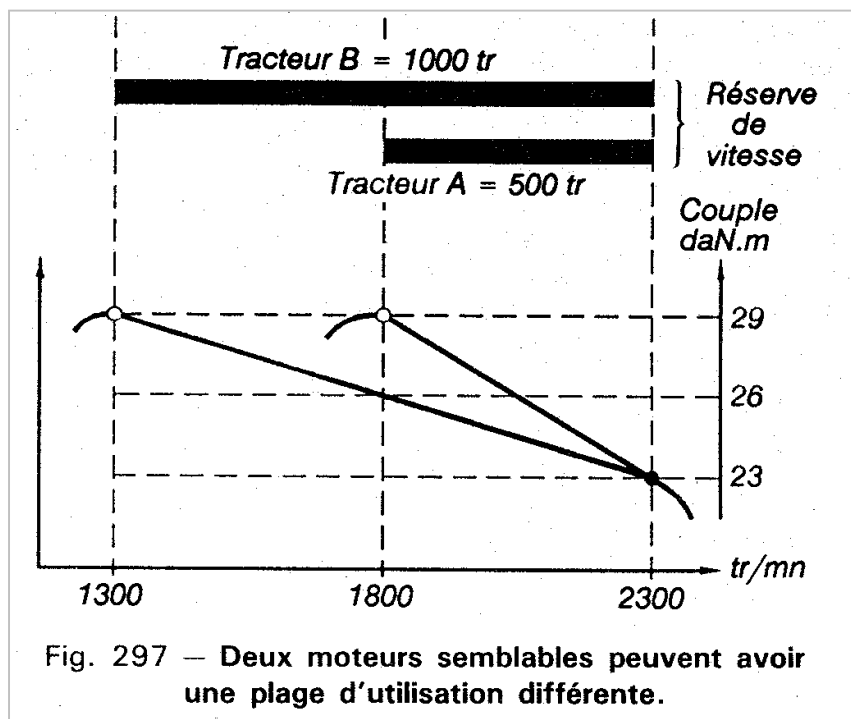


Fig. 297 — Deux moteurs semblables peuvent avoir une plage d'utilisation différente.

Las curvas de la figura muestran dos tractores A y B que tienen respectivamente un intervalo de utilización de 500 y de 1000 rpm. Estos dos tractores son casi idénticos: misma potencia nominal, mismo régimen nominal, mismo par máximo, misma reserva de par (26%).

La elección adecuada está ligada a la utilización que se va a hacer del tractor, teniendo en cuenta tres tipos de trabajos: **tracción a potencia nominal (arado, subsolado ...)**, **toma de fuerza a potencia nominal (ensilado por ejemplo)** y **pequeños trabajos de tracción a potencia parcial**.

- **En tracción a potencia nominal** para una operación de trabajo del suelo, por ejemplo, el tractorista elige una velocidad y coloca la palanca del acelerador al máximo con el fin de trabajar próximo a la zona de régimen nominal, por ejemplo a 5 km/h.

Si el trabajo del suelo necesita un esfuerzo más importante, el régimen del motor disminuirá hasta el valor correspondiente al esfuerzo solicitado. Para un incremento de carga correspondiente a un par motor de 260 Nm por ejemplo, el régimen del tractor A será de 2050 rpm y el del B de 1800 rpm. Ambos tractores salvarán el obstáculo sin necesidad de cambiar de velocidad, pero el tractor A irá más rápido que el B, lo que supone un ahorro de tiempo.

- **En trabajos con la toma de fuerza a potencia nominal** para accionar una empacadora por ejemplo, como el régimen normalizado de las tomas de fuerza está muy a menudo próximo al régimen nominal del motor, esta situación es análoga a la anterior. Para un esfuerzo suplementario correspondiente a una cantidad más importante de forraje que llega a la empacadora, el tractor A es más interesante que el B ya que permite un mejor mantenimiento de la velocidad de trabajo y del régimen de rotación de la tdf, por lo tanto una mejor regularidad del trabajo.

- **Para pequeños trabajos de tracción correspondientes a cargas parciales**, es preferible trabajar a un régimen lo más reducido posible. En estas condiciones, el tractor B es más interesante que el A porque se adapta mejor para funcionar a regímenes próximos a 1500 rpm.

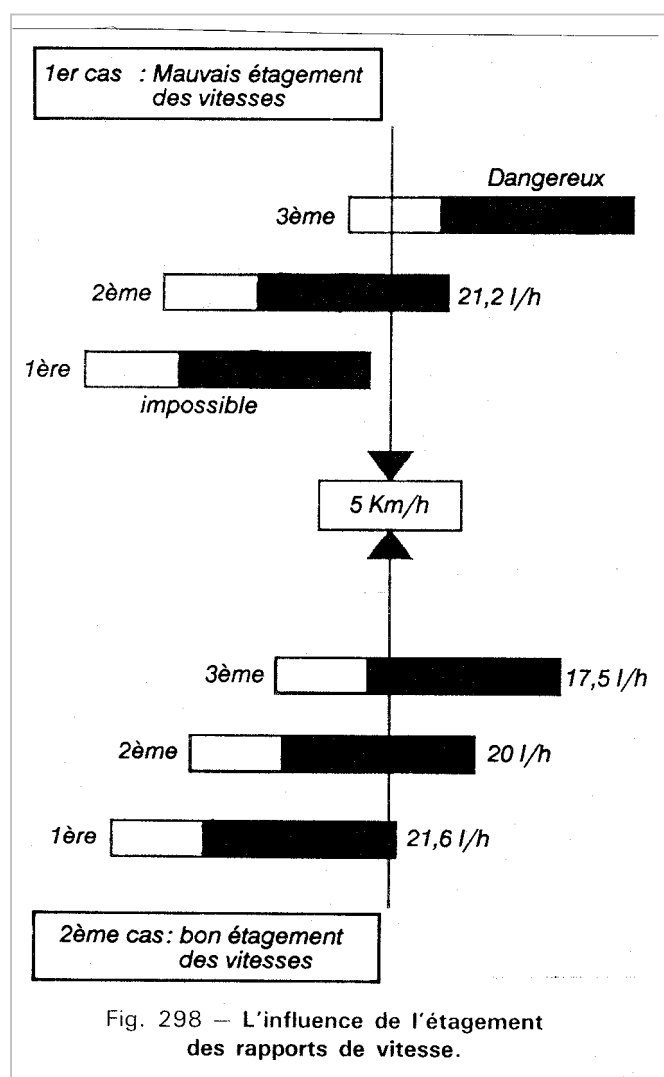
Resumiendo, recordemos que los dos tractores poseen la misma reserva de par del 26%, pero con un intervalo de utilización de 500 rpm para el tractor A y 1000 rpm para el tractor B. La elección entre ambos se efectúa en función de la utilización prevista: se elegirá el tractor A si este está destinado a efectuar muchos trabajos de preparación del suelo pesados, y el tractor B si va a realizar trabajos que requieran poca potencia. Hay que reseñar que el tractor A, debido a su reducido intervalo de utilización deberá tener en principio una caja de cambios más escalonada que el tractor B.

Para un tractor polivalente, una reserva de par del 20 al 30% y un intervalo de utilización de 800 a 1000 rpm se consideran como aceptables. El tractor B es más polivalente que el A.

- **Conocer las características de la caja de cambios**

Un número suficiente de relaciones de velocidad en la zona de trabajo comprendida entre los 4 y los 10 km/h permite adaptar mejor las características del motor a los diferentes trabajos. pero un número elevado de relaciones no es el único criterio para la selección; es necesario tener en cuenta su escalonamiento. Para comprender esto compararemos dos tractores idénticos equipados con cajas de cambio diferentes (ver figura siguiente): para cada una de las relaciones, la zona blanca corresponde a una zona de fuerte sobrecarga del motor:

En el primer caso, para un trabajo de tracción importante solo es posible elegir una relación, a elevado régimen y con un consumo de 21,2 l/h.



En el segundo caso las tres relaciones son utilizables y es posible adoptar una “conducción económica” eligiendo la relación y el régimen que permitan limitar el consumo sin riesgo a deteriorar el motor. Si la parcela es plana y homogénea se elegirá la 3ª relación; si se elige la 1ª se tendrá la posibilidad de utilizar toda la reserva de par del motor.

ELECCIÓN CORRECTA DEL CONJUNTO TRACTOR-APERO

- Adherencia, resbalamiento y pérdidas por rodadura

Los neumáticos deben asegurar, con el máximo de eficacia, la transformación del par motor en esfuerzo de tracción con un resbalamiento lo más reducido posible.

Recordemos que el coeficiente de tracción depende:

- de la carga vertical aplicada a cada rueda motriz
- de la forma y el tipo de neumático empleado
- de la superficie de contacto con el suelo
- del estado y la naturaleza del suelo

Por definición, el **resbalamiento es una fuente de pérdidas** ya que, para recorrer una misma distancia, el número de vueltas de la rueda aumenta proporcionalmente. **El resbalamiento comporta un aumento del consumo de carburante, un desgaste suplementario de los neumáticos y un deterioro del suelo.**

Las pérdidas por rodadura resultan de la energía consumida por la penetración de los neumáticos en el suelo y por la deformación de su carcasa. Estas pérdidas aumentan con el peso adherente (porcentaje de peso que recae sobre las ruedas motrices).

Para un neumático determinado, **la presión de inflado tiene una influencia directa sobre las pérdidas por resbalamiento** y por rodadura. Es necesario pues, para cada tipo de neumático, respetar las presiones de inflado recomendadas por el fabricante en función de la carga y de la velocidad de avance.

PRINCIPIOS BÁSICOS PARA UNA CONDUCCIÓN ECONÓMICA

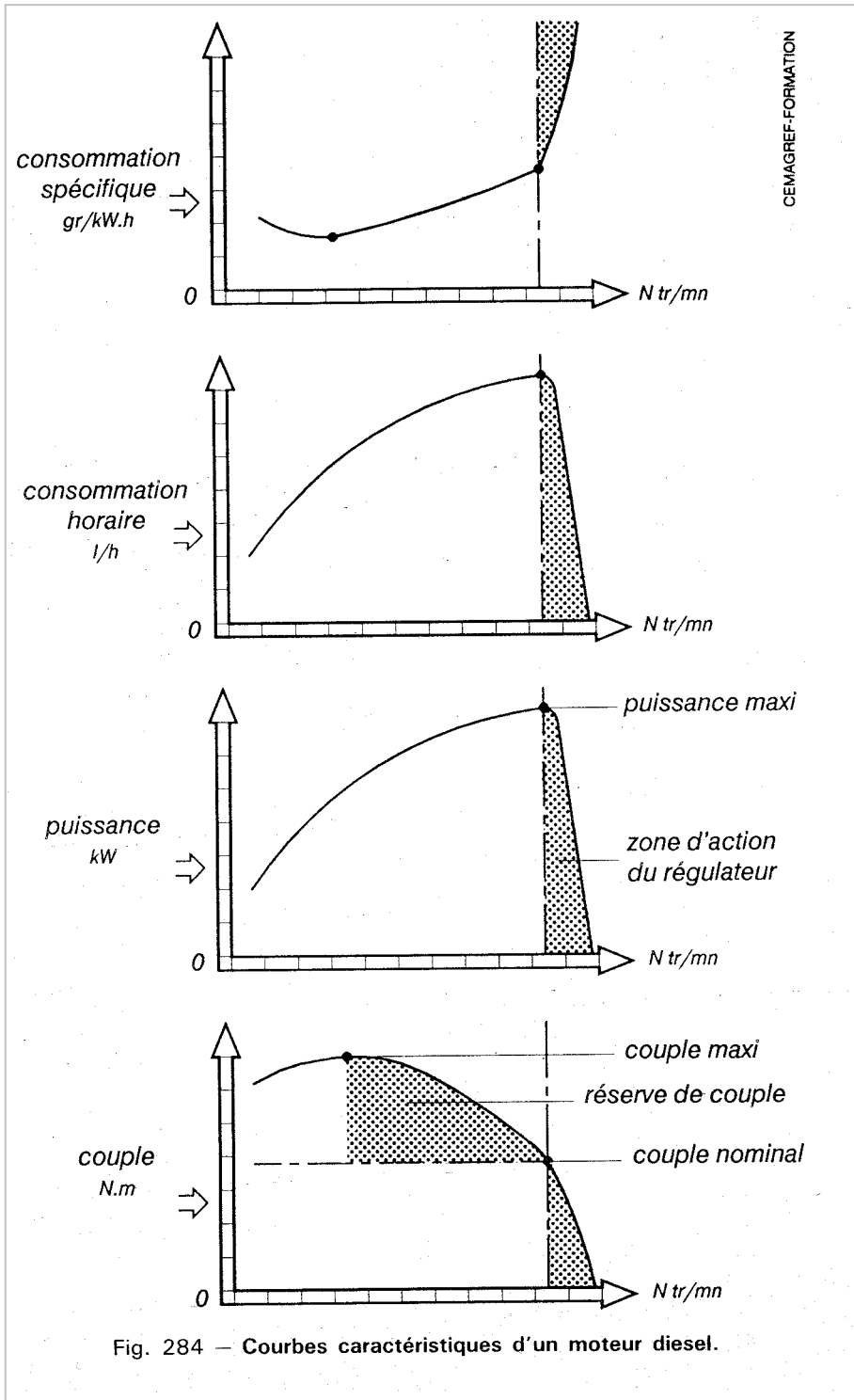
Una conducción denominada económica consiste simplemente en tener el hábito de adaptar la potencia disponible a la potencia necesaria, y está basada en el análisis e interpretación de las curvas características.

Este análisis hace referencia básicamente a tres zonas de funcionamiento: **la zona de acción del regulador, la zona de plena carga y la zona de calado.**

- **La zona de acción del regulador o zona de carga parcial** está comprendida entre el régimen máximo y el régimen nominal. En la mayor parte de los motores esta zona tiene una amplitud de unos 150 200 rpm. El consumo específico del motor en esta zona sobrepasa a menudo los 250 g/kWh y llega a 300 - 350 g/kWh a carga pequeña, por lo que los **rendimientos son mediocres**, pudiendo ser inferiores al 23%

- **La zona de plena carga** se sitúa entre el régimen nominal y el régimen de par máximo. El consumo específico es en general estable y presenta un mínimo situado alrededor de la zona de par máximo. **El consumo específico mínimo corresponde al mejor rendimiento energético** a un régimen y una carga del motor donde el conjunto de pérdidas es mínimo. Los motores actuales tienen un consumo específico mínimo que se sitúa entre 210 y 220 g/kWh.

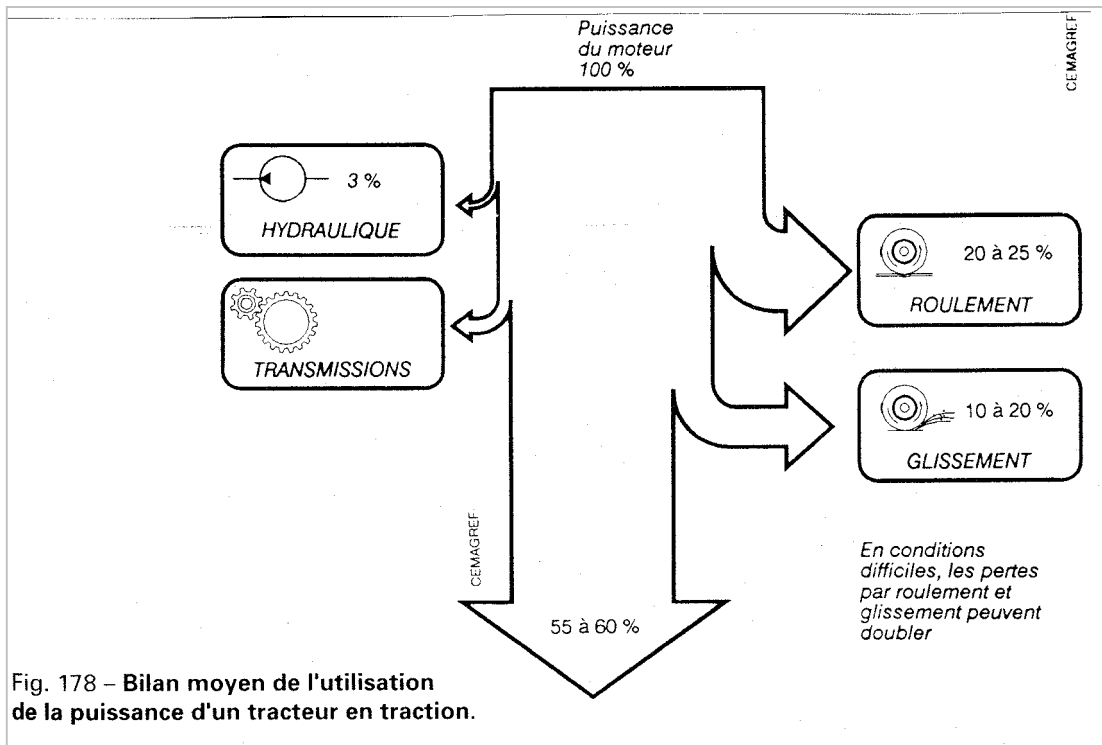
- **La zona de calado** se sitúa por debajo del régimen de par máximo. La carga solicitada al motor es demasiado elevada y el motor puede calarse.



**TRACCION Y ACCIONAMIENTO
DE APEROS**

EL ESFUERZO DE TRACCIÓN

El esfuerzo de tracción corresponde a la **fuerza horizontal** generada por un tractor para hacer funcionar el apero del que tira. La **potencia de tracción** es el producto del esfuerzo de tracción por la velocidad de avance. En la figura adjunta se incluye un ejemplo del **balance de utilización** de la potencia de un tractor; este balance nos indica claramente que la potencia de tracción disponible se ve afectada muy directamente por las pérdidas por **resistencia a la rodadura** y por el **resbalamiento**.



LA RESISTENCIA A LA RODADURA

La fuerza o el **esfuerzo de rodadura** es la fuerza horizontal que se debe ejercer para asegurar el desplazamiento del propio tractor. Está ligada a la energía consumida debida a la deformación de las ruedas y a su penetración en el suelo. La resistencia a la rodadura es tanto más elevada cuanto más pesado es el vehículo, cuanto mayor es la deformación de los neumáticos y cuanto más desmenuzado y suelto está el terreno.

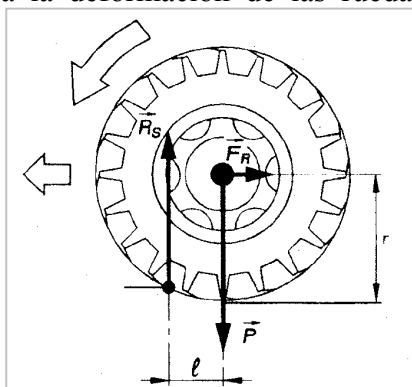


Fig. 179 – Représentation graphique de l'effort de roulement.

Cuando gira, una rueda sometida a un peso **P** encuentra una reacción del suelo **Rs**, de la misma intensidad pero con la línea de acción desplazada una distancia "l", por delante del eje de la propia rueda. Para un peso dado, esta distancia varía según la naturaleza del terreno y de las características de los neumáticos (perfil de la banda de rodadura, dimensiones, presión, ...).

La reacción del suelo **Rs** y el desplazamiento **l** forman un par **Rs.l** que se opone al avance. Este par es igual a una fuerza de rodadura **FR** que ejercería sobre el eje de la rueda un par contrario al par motor de un valor **FR.r** (siendo **r** del radio de la rueda).

$$\mathbf{Rs.l} = \mathbf{FR.r}, \text{ de donde } \mathbf{FR} = \frac{\mathbf{l.Rs}}{\mathbf{r}}$$

La resistencia o la fuerza de rodadura **FR** es proporcional a la reacción del suelo **Rs** y al peso **P** aplicado sobre la rueda.

- Cuanto mayor es el peso sobre las ruedas de un tractor, mayor es la fuerza de resistencia a la rodadura;
- Cuanto mayor es en diámetro de las ruedas, menor es la resistencia a la rodadura;
- Cuanto mayor es la presión de los neumáticos, más tiende a aumentar la resistencia a la rodadura sobre un suelo suelto, ya que la deformación de los neumáticos es menor, se hunden más en el suelo y la desviación **l** es mayor. Al contrario, en suelo duro, el aumento de la presión de los neumáticos genera una reducción de la fuerza de rodadura ya que disminuye **l**.

A lo largo de este tema veremos que la fuerza de rodadura y el resbalamiento son dos parámetros contradictorios que obligan al agricultor a comprobar continuamente el peso y las regulaciones de los aperos para establecer el punto óptimo de trabajo, aún sabiendo que es imposible trabajar sobre un suelo agrícola con valores de resbalamiento y resistencia a la rodadura nulos.

Definiremos **coeficiente de rodadura CR** al resultado de la relación:

$$\mathbf{Cr} = 100 \times \frac{\mathbf{Cm} - \mathbf{Cr}}{\mathbf{Cm}}$$

Cm: Par motor aplicado al eje de la rueda

Cr: Par real correspondiente al esfuerzo de tracción generado por la rueda

EL RESBALAMIENTO Y LA ADHERENCIA

Los trabajos de preparación del suelo y, principalmente la labor de arada, la descompactación y el subsolado requieren importantes esfuerzos de tracción. Con el fin de limitar un consumo excesivo de combustible y un desgaste innecesario de los neumáticos, este tipo de trabajos deben realizarse en condiciones adecuadas de adherencia, para transmitir el par de tracción necesario con el mínimo resbalamiento.

- **El resbalamiento**

Supongamos que, en lugar de recorrer por cada vuelta una distancia igual a su circunferencia (**D**), una rueda motriz recorre una distancia menor (**d**). El resbalamiento (**g**) se expresa como porcentaje por la relación:

$$g \% = \frac{D - d}{D} \times 100$$

La adherencia

De manera general, se dice que existe adherencia cuando dos superficies resisten al resbalamiento de una sobre la otra. En este caso se denomina **coeficiente de adherencia (Ca)** al cociente entre la fuerza (**F**) que tiende a hacer deslizar las superficies, y la fuerza perpendicular (**P**) que junta las superficies una contra otra:

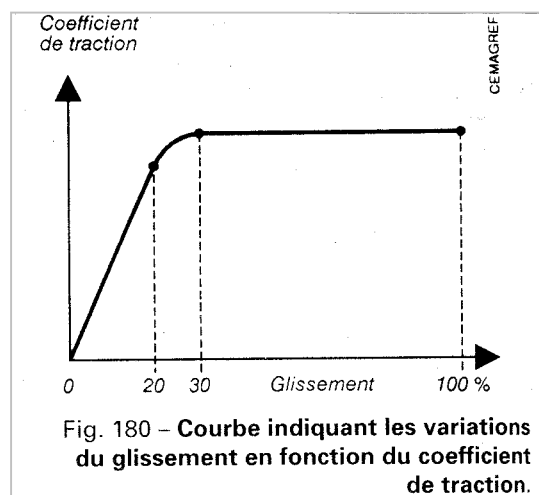
$$Ca = \frac{F}{P}$$

En un suelo agrícola es fenómeno es bastante complejo, ya que la adherencia depende del estado y de la naturaleza del suelo, de la superficie de contacto con el suelo y del dibujo de los neumáticos. Para suelos agrícolas se utiliza entonces el que se denomina **coeficiente de tracción (Ct)**. El coeficiente de tracción de un vehículo corresponde al cociente del esfuerzo aplicado al apero (**F**) por el peso (**T**) también denominado **peso dinámico**, sobre las ruedas motrices:

$$Ct = \frac{F}{T}$$

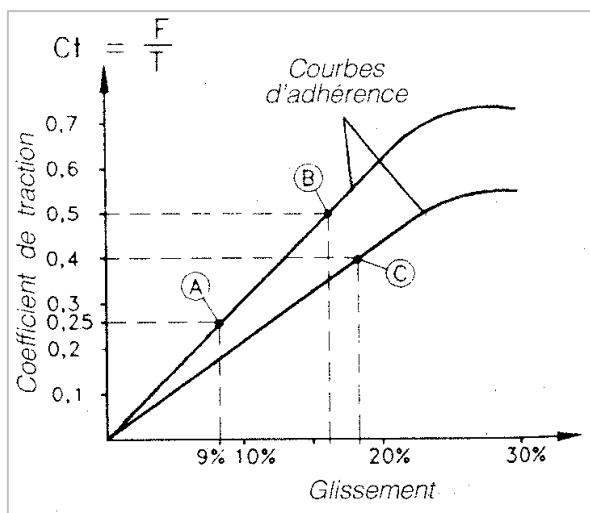
La adherencia es la capacidad de los elementos de tracción (tractores) para utilizar su propio peso para moverse y realizar un esfuerzo de tracción, para un valor dado del resbalamiento. Esta adherencia es la que permite al tractor autopropulsarse y ejercer un esfuerzo de tracción sobre los aperos que lleva acoplados. Por eso, el trabajar en buenas condiciones de adherencia permite el transmitir el par de tracción necesario con un resbalamiento lo más pequeño posible.

La figura muestra la relación que existe entre el coeficiente de tracción **Ct** y la adherencia. Los parámetros **F** (esfuerzo de tracción), **T** (peso sobre las ruedas motrices) y la adherencia son indisociables.



Tomemos el ejemplo de tres tractores (A), (B) y (C); el tractor (A) se utiliza para una preparación superficial del suelo, y los tractores (B) y (C) se utilizan para los trabajos de laboreo primario:

	Tractor A	Tractor B	Tractor C
Carga vertical sobre las ruedas motrices	6 000 kg	4 000 kg	5 000 kg
Esfuerzo de tracción en las ruedas	1 500 kg	2 000 kg	2 000 kg
Coefficiente de tracción	0,25	0,5	0,4
Resbalamiento medido	9 %	18 %	16 %



Analizando los datos de la tabla anterior, el tractor (A) tiene la carga vertical más elevada y el deslizamiento más bajo; el tractor (B) tiene un coeficiente de tracción y un resbalamiento dos veces más elevado que (A) y el tractor (C) genera un esfuerzo de tracción idéntico a (B) con menor resbalamiento. A pesar de las apariencias la gráfica muestra que los tractores (A) y (B) tienen la misma adherencia (están en la misma curva de adherencia), mientras que el tractor (C) tiene menor adherencia; para que este último tenga la misma adherencia que los otros dos, sería necesario que su deslizamiento fuera del 14,4 %.

• **Soluciones para mejorar la adherencia y reducir el resbalamiento**

Para aumentar la adherencia de un tractor sobre un suelo agrícola, existen varias soluciones que tienden, bien a aumentar la superficie de contacto de las ruedas motrices con el suelo, bien a utilizar elementos complementarios mejorando el agarre.

- el aumento de la superficie de contacto con el suelo:

Es posible utilizar neumáticos anchos y de gran diámetro, reducir la presión de inflado dentro de los límites autorizados, utilizar ruedas gemelas o cadenas.

- mejorar el agarre:

Pueden utilizarse implementos complementarios: ruedas-jaula, semi-orugas, etc.

- la reducción del resbalamiento:

Para reducir el resbalamiento con un esfuerzo de tracción constante, puede incrementarse la carga vertical sobre las ruedas motrices utilizando, según los casos, dispositivos de lastrado (masas o llenado de agua de los neumáticos de tracción), o los efectos de una adecuada transferencia de carga del apero.

Es importante recordar, no obstante, que la reducción del resbalamiento por un lastrado excesivo conduce a incrementar las pérdidas por resistencia a la rodadura. Por ello, para cada situación existe un compromiso que depende del estado y naturaleza del suelo, del tipo de trabajo a realizar, ...

LOS DIFERENTES MODOS DE ACOPLAMIENTO DE APEROS

Existen tres formas de acoplamiento del apero al tractor: aperos suspendidos, aperos semi-suspendidos y aperos arrastrados. En realidad, estas tres categorías pueden comportar variantes según el apero se encuentre en posición de trabajo o de transporte: por ejemplo, un arado puede ser semisuspendido en posición de trabajo, suspendido durante las maniobras de volteo y semi-suspendido durante el transporte.

• **Aperos suspendidos**

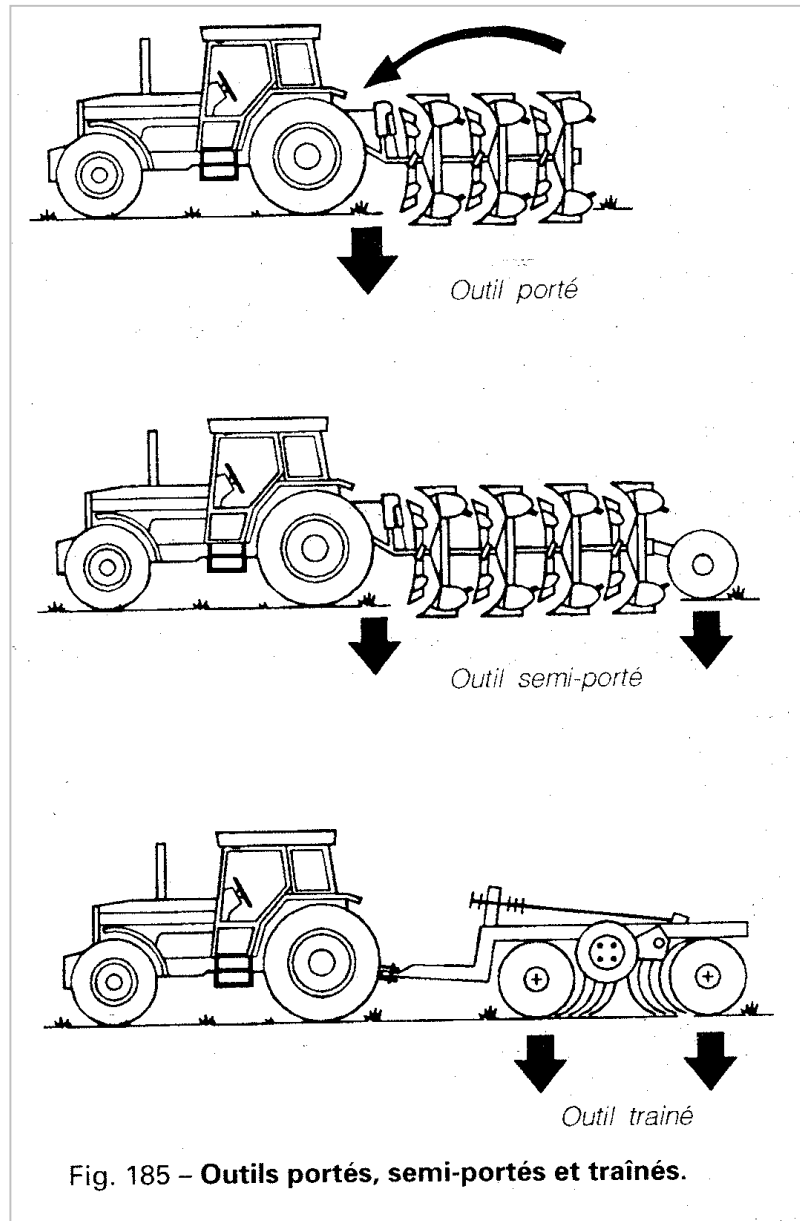
Los aperos suspendidos son **enteramente soportados por el enganche de tres puntos del tractor** y no se apoyan nada, en principio, en el suelo.

Este tipo de acoplamiento está limitado a los equipos cuyo peso y dimensiones no generen levantamiento de la parte frontal del tractor o sobrepasen las dimensiones y capacidad del elevador hidráulico del mismo.

Con los aperos suspendidos pesados, las ruedas motrices traseras del tractor se benefician de una transferencia de peso importante que favorece la adherencia, pero que aumenta los esfuerzos para vencer la resistencia a la rodadura, incrementa los riesgos de compactación del suelo y el desequilibrio en el eje delantero.

• **Aperos semi-suspendidos**

Estos aperos se acoplan al tractor de tal forma que **una parte de su peso se soporta por el tractor** y el resto reposa sobre uno o varios puntos del suelo. Esta disposición, corrientemente utilizada para los remolques, se utiliza también para el acoplamiento de aperos al enganche tripuntal del tractor de aquellos aperos pesados de trabajo del suelo, para los que **el par de elevación** sería tan elevado que haría levantar el eje delantero del tractor.



- **Aperos arrastrados**

Los aperos arrastrados son acoplados al tractor de forma que **la práctica totalidad de su peso se soporta por el suelo.**

Si la adherencia es suficiente el tractor puede arrastrar pesos importantes pero, cuando los esfuerzos de tracción son importantes, el esfuerzo puede ser insuficiente.

EL ELEVADOR HIDRÁULICO

El elevador hidráulico de los tractores permite no solo elevar y descender el aparo sino también controlar su posición en un momento determinado. La figura adjunta muestra un esquema del sistema hidráulico de un tractor convencional.

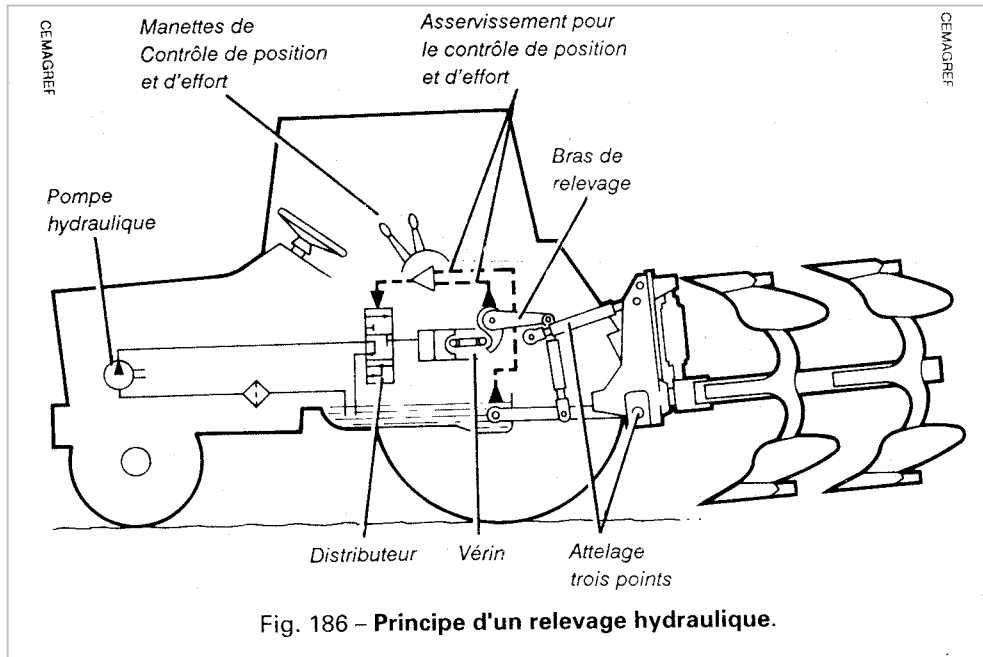


Fig. 186 – Principe d'un relevage hydraulique.

La principal particularidad de este sistema se encuentra a nivel del distribuidor, que no es accionado directamente por el tractorista si no que actúa de forma automática en función de las condiciones de trabajo. En efecto, mediante el enganche de tres puntos se controla tanto la **posición** del apero durante el trabajo como el **esfuerzo** de tracción realizado.

- **Control de posición**

Se trata de un circuito que relaciona la posición de la palanca de mando con la altura del apero con relación al tractor. Esto permite al tractorista maniobrar y modificar la posición del apero y devolverlo luego a la posición predeterminada.

- **Control de esfuerzo**

Este sistema permite mantener un esfuerzo de tracción constante. Se utiliza sobre todo en trabajos de preparación del suelo. Cuando el arado encuentra una resistencia suplementaria del suelo o cuando aparece una desigualdad en la compactación o dureza del suelo, el tractor podría patinar exageradamente, deteriorando así la estructura del suelo. Para evitar esto, el control de esfuerzo eleva ligeramente el apero provocando así una disminución del esfuerzo de tracción.

Este control de esfuerzo puede combinarse con el control de posición con el fin de **limitar variaciones excesivas en la profundidad** de trabajo. Es lo que se conoce como **control mixto**.

- **Acoplamiento flotante**

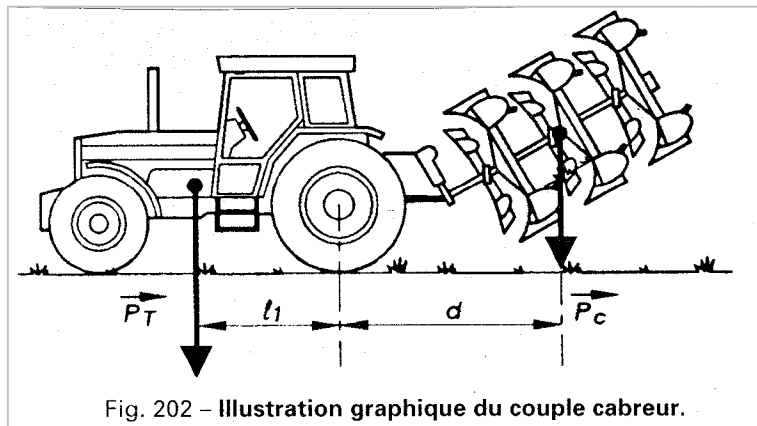
En esta configuración, el elevador hidráulico no ejerce ningún control sobre el apero. El **pistón puede subir o bajar libremente**. El apero (sembradora, gradas accionadas) puede así apoyarse sobre sus ruedas y seguir las irregularidades del terreno. Caso de que

el elevador hidráulico no disponga de esta opción, la posición flotante puede conseguirse regulando el control de posición en la posición inferior y el control de esfuerzo al máximo nivel.

LIMITACIONES DE LOS APEROS SUSPENDIDOS

El concepto casi universal tractor-apero suspendido alcanza hoy en día su apogeo con el desarrollo de sofisticados sistemas de elevador hidráulico. Esta evolución tecnológica, asociada a un rápido crecimiento de la potencia de los tractores presenta una singular paradoja: los elevadores hidráulicos no pueden trabajar con grandes arados suspendidos.

Esto es debido, simplemente a las limitaciones impuestas por el propio elevador. Pero no es la capacidad de elevación en sí misma el límite sino el riesgo de vuelco o levantamiento del tractor.



El equilibrio se alcanza cuando el “Par de vuelco” $P_c \times d$ se iguala al Par anti-vuelco” $P_T \times l_1$. El par de vuelco es el producto del peso del arado por la distancia del centro de gravedad al punto de contacto de las ruedas traseras del tractor con el suelo; el par anti-vuelco es el producto del peso del tractor por la distancia del centro de gravedad al punto de contacto de las ruedas traseras con el suelo.

Si se analiza la evolución de estos dos pares de fuerzas con el incremento de potencia de los tractores, el razonamiento global es el siguiente:

- la potencia es sensiblemente proporcional al peso de los tractores;
- el peso de los tractores es proporcional al cubo de sus dimensiones: $P_T = f(L^3)$.

El par anti-vuelco $P_T \times l_1$ es por tanto una función de (L^4) (cuarta potencia de las dimensiones del tractor);

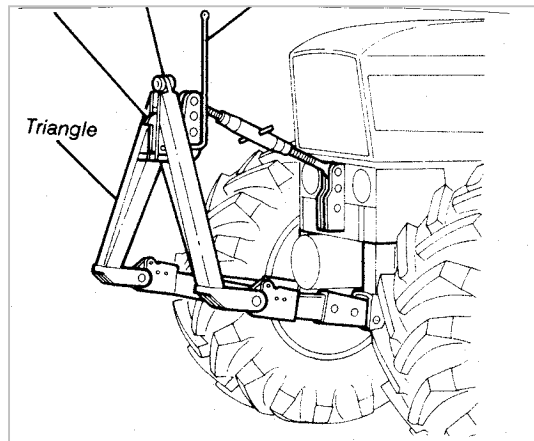
- el número de cuerpos de un arado es función de la potencia del tractor;
- el peso es función del número de cuerpos, y por lo tanto de una función cúbica de las dimensiones del tractor: $P_c = f(L^3)$;

- la distancia d es función del número de cuerpos, de donde $d = f(L^3)$;
- el par de vuelco $P_c \times d$ es por consecuencia función de la potencia sexta de las dimensiones del tractor, $f(L^6)$, siendo muy rápidamente superior a $f(L^4)$.

En un principio, la evolución normal de los tractores ha sido la de incrementar progresivamente el peso que recae en el eje delantero y pasar simultáneamente a la doble tracción, con el fin de mejorar y aprovechar las masas delanteras.

El continuo incremento de las potencias pone todavía como límite el arado de cinco cuerpos para aperos suspendidos. ante tal situación se plantean dos posibles soluciones: seguir incrementando el peso que recae en el eje delantero, pero con la incorporación de aperos de enganche frontal y pasar a la utilización de aperos semi-suspendidos, tanto en trabajo como en transporte.

	Reparto en vacío		Reparto en trabajo	
	AV	AR	AV	AR
2 RM	1/3	2/3	mínimo	1
4 RM diferentes	1/2	1/2	1/3	2/3
4 RM iguales	2/3	1/3	1/2	1/2



BIBLIOGRAFIA BASICA

Agence Française pour la maîtrise de l'énergie (1990) Réduire de 20% ses dépenses de fioul en machinisme agricole. ITCF, Francia.

Barthelemy, P.; Boisgontier, D.; Lajoux, P. (1897) Choisir les outils de travail du sol. ITCF, Francia.

CEMAGREF (1992) Les tracteurs agricoles. TEC & DOC, Paris, Francia.

CEMAGREF (1993) Les matériels de travail du sol, semis et plantation. TEC & DOC, Paris, Francia.

Giacosa, D. (1986) Motori Endotermici. De. Ulrico Hoepli. Milano, Italia.

Nouvel, V. (1994) Ce qu'il faut savoir avant d'acheter un tractor. Les critères techniques. Cultivar, n° 372, 1994.

**CONSTITUCIÓN, PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE
LOS SUELOS**

NOCIONES DE ESTRUCTURA

La estructura del suelo resulta de las formas en que se asocian los **constituyentes elementales** del terreno. Estas asociaciones son lo que se denominan **elementos estructurales**. De un suelo es importante conocer:

- Su **estabilidad estructural**: Aptitud del suelo a resistir la degradación de su estado estructural por el agua.
- Su **actividad estructural**: Su aptitud para la regeneración natural después de haber sufrido compactaciones.

Para una textura y una humedad dadas, **la estructura determina el comportamiento de un suelo ante la acción de los aperos y los neumáticos** y las **posibilidades de colonización del sistema radicular**. La estructura se degrada por **compactación**, por **sellado** o por **masificación**.

- **La compactación:**

La compactación es el resultado de la acción mecánica de las máquinas. Se traduce por una **reducción de la porosidad** (o por un **aumento de la densidad**) bajo el efecto de una presión exterior.

A largo plazo, una compactación excesiva de los suelos agrícolas es siempre perjudicial para el correcto desarrollo de las plantas y difícil de corregir, sobre todo si se localiza en profundidad.

En el caso de los tractores, la compactación es directamente proporcional a la presión ejercida sobre el suelo. Y esta depende principalmente de la **presión interna del aire en el interior de los neumáticos**. **En suelos sensibles es aconsejable la utilización de neumáticos anchos (o ruedas gemelas), con la menor presión interna posible, así como el empleo de aperos con bajos requerimientos de tracción.**

- **El sellado:**

Es la degradación del suelo bajo la influencia de la lluvia. Esta **destruye la estructura superficial** del suelo por su acción mecánica y por su acción de humectación. En suelos muy sensibles se forma lo que se denomina “**costra**” o “**sellado del suelo**”.

- **La masificación:**

Se trata de un cambio en la estructura del suelo que conduce a la aglomeración de elementos estructurales en masa uniforme. en este caso la estructura del suelo puede ser regenerada por:

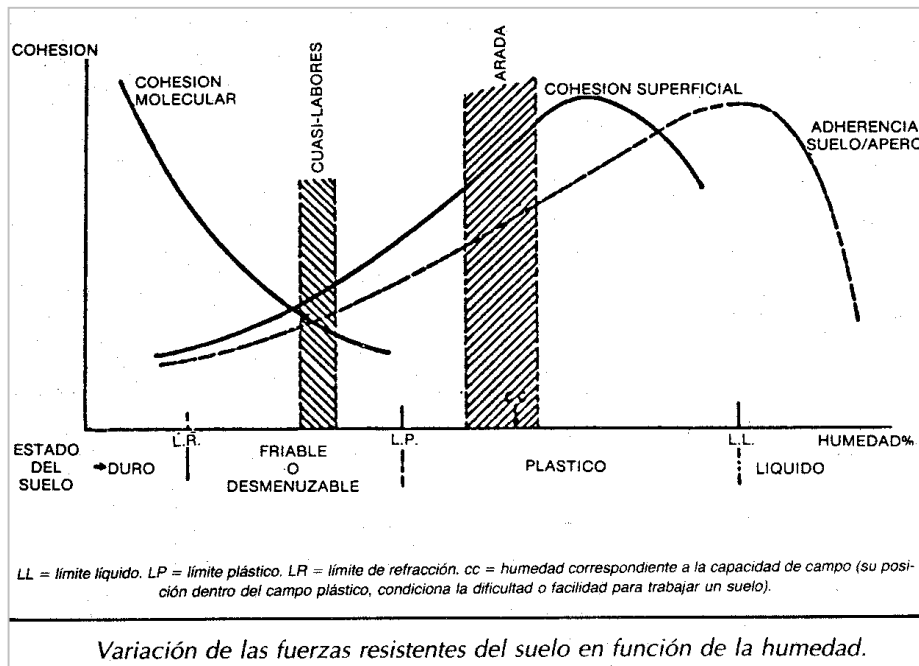
- la acción del **hielo**
- la alternancia **desección/hidratación** si el suelo contiene suficiente arcilla
- la **fauna del suelo**
- la **acción del hombre** (laboreo del suelo)

PRINCIPALES PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DEL SUELO

Las principales propiedades físicas del suelo son la **tenacidad**, la **consistencia**, la **porosidad**, la **permeabilidad**, la **capilaridad**, la **capacidad de retención**, la **aireación**, el **recalentamiento** y el **enfriamiento**.

Tenacidad o cohesión: Resistencia a la acción mecánica de los aperos. Depende fundamentalmente del grado de humedad del terreno.

Consistencia: Para su determinación es preciso definir los diferentes niveles de consistencia: dura, friable, semi-plástica y plástica.



Porosidad: Permite apreciar la dimensión media de los poros y volúmenes vacíos.

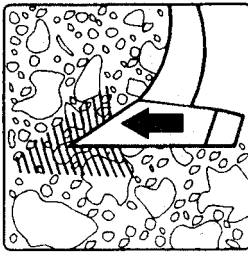
Permeabilidad: Caracteriza la facilidad con la que el agua puede infiltrarse en el suelo.

Capilaridad: Facultad con la que los líquidos ascienden. Está directamente relacionada con la posibilidad que tiene el agua de las capas profundas de subir a la superficie.

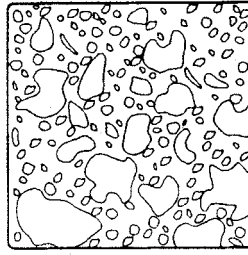
Capacidad de retención: Define la cantidad de agua que puede retener un suelo.

Recalentamiento y enfriamiento: Las tierras ligeras, muy permeables, se calientan rápidamente y permiten un desarrollo rápido de la vegetación, pero se secan rápido. Las tierras arcillosas tardan más en calentarse, ya que son más húmedas, por lo tanto son poco recomendables para los cultivos precoces, aunque permanecen más frescas en verano.

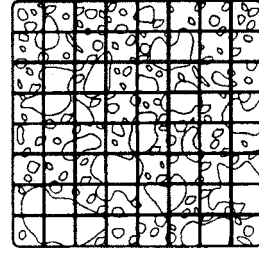
LA TENACITE



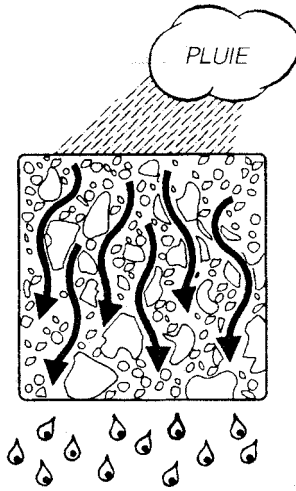
LA POROSITE



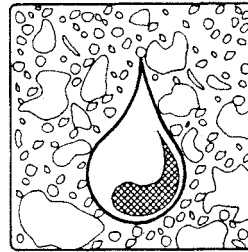
LA REPARTITION ET LA MOBILITE DES AGREGATS



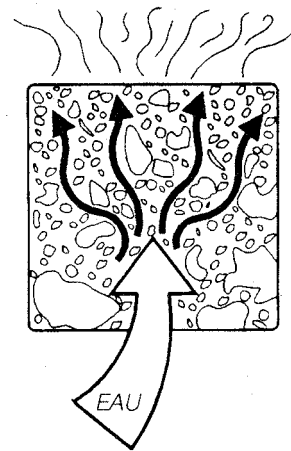
LA PERMEABILITE



LA CAPACITE DE RETENTION

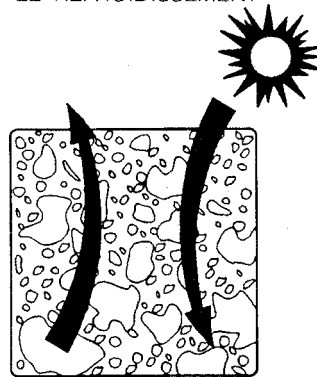
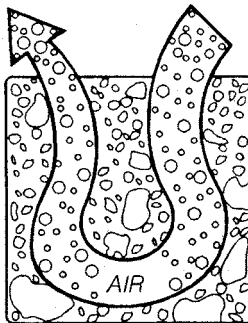


LA CAPILLARITE



LE RECHAUFFEMENT ET LE REFROIDISSEMENT

L'AERATION



LOS OBJETIVOS DEL TRABAJO DEL SUELO Y LA ACCIÓN DE LOS APEROS

FUNCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO DEL SUELO

La función esencial del trabajo del suelo es la de obtener un estado del suelo favorable al **establecimiento de los cultivos** y a su **desarrollo radicular**. Debe permitir la implantación en **las mejores condiciones agronómicas y económicas**.

La preparación del suelo debe permitir el obtener un reparto regular de la semillas en el suelo, su colocación a la profundidad adecuada y en contacto con una tierra suficientemente húmeda que favorezca su germinación; en este último caso, salvo si la humedad es excesiva, es necesario que la preparación del suelo permita, tras la siembra, el contacto de la semilla con una parte del terreno compactada en la que el movimiento del agua no se vea perjudicado.

El trabajo del suelo permite conservar y aumentar la **porosidad** del suelo y mejorar la **permeabilidad** de la capa trabajada.

Las acciones del trabajo del suelo tratan de conseguir, con o sin la ayuda de los agentes climáticos, la adecuada preparación de la capa arable y de la **cama de siembra**. Esta acción, en apariencia tan simple, condiciona las operaciones mecánicas que permiten al agricultor conseguir, de una manera más o menos precisa, cada uno de los diez objetivos siguientes:

- 1. Enterrado de restos vegetales y residuos superficiales**
- 2. Aireación y mullido de la capa arable**
- 3. Calentamiento del suelo**
- 4. Formación de la cama de siembra**
- 5. Reparto y localización de la tierra fina y de los pequeños terrones**
- 6. Nivelación del suelo**
- 7. Corrección del exceso de porosidad**
- 8. Aireación del suelo por debajo de la capa arable**
- 9. Control de malas hierbas, parásitos y enfermedades**
- 10. Incorporación de enmiendas y fertilizantes**

En cualquier caso, las operaciones de trabajo del suelo deben realizarse de manera que se eviten en lo posible las pérdidas por erosión: sentido de trabajo de las parcelas, época de trabajo y humedad del suelo.

DIFERENTES MODOS DE ACCIÓN DE LOS APEROS

La acción de mullido de un suelo consiste en reducir su cohesión e incrementar su porosidad. Esta operación tiende a crear conglomerados más o menos libres entre ellos. Este mullido va acompañado generalmente de una reducción del tamaño de los terrones, es decir, de un desmenuzamiento.

Cada apero trabaja el suelo combinando varias acciones mecánicas elementales siendo los resultados obtenidos dependientes del grado de humedad, de la textura y de la estructura inicial.

Las acciones mecánicas que permiten mullir o desmenuzar un suelo son:

Resquebrajamiento: Se manifiesta oblicuamente **delante del apero**. Puede observarse delante de los **arados** o de los dientes de **chisels** y **cultivadores** en suelos de humedad media.

Seccionamiento: Los elementos de los aperos actúan por seccionamiento de la capa de terreno, en el sentido de avance. Los **arados**, los aperos de **discos** y sobre todo los **cultivadores rotativos** son claros ejemplos.

Cizalladura: Las partículas del terreno pueden sufrir cizalladura entre las piezas móviles de los aperos. Es el caso de las **gradas accionadas** por la toma de fuerza. Esta acción es particularmente eficaz para reducir el tamaño de los terrones, si la humedad no es demasiado elevada.

Choque: Los choques de los terrones entre ellos y contra los aperos contribuyen a su dislocación. Los **aperos accionados** por la toma de fuerza, los **aperos alternativos** y **vibrantes** favorecen los efectos del choque. La proyección de los terrones afectados por los **útiles rotativos**, contra un cárter produce un desmenuzamiento por choque. De forma general, esta acción de choque es más eficaz cuanto más frágil es la estructura inicial del suelo.

Aplastamiento: El aplastamiento de los terrones por los **rodillos** más o menos pesados es un método eficaz para el desmenuzamiento o formación de **tierra fina**. Esta acción es más eficaz cuando la base sobre la que se apoyan los terrones ofrece una buena cohesión. Si la forma del apero es angular se acentúa el efecto de rotura.

Frotamiento: El frotamiento de las partículas del terreno entre ellas contribuye a reducir su dimensión y a crear la proporción de tierra fina necesaria.

Separación de terrones y tierra fina: La selección efectuada por ciertos aperos modifica la localización de la tierra fina y de los terrones según su grosor. Esta selección se puede efectuar por **desplazamiento horizontal**, por **desplazamiento vertical** o por **proyección**:

El **desplazamiento horizontal** se obtiene por un apero (**grada de púas**, por ejemplo) que desplaza y hace rodar los terrones en superficie; gracias a este movimiento, los terrones se separan de la tierra fina y tienden a reagruparse en superficie.

El **desplazamiento vertical** se puede obtener con **dientes verticales o inclinados (grada o cultivador)** que permiten a la tierra fina deslizarse hacia las partes más profundas del surco que ellas crean, mientras que los terrones son elevados a la superficie.

La **proyección** realizada por diversos aperos, **deslizantes o rotativos**, dirige el conjunto de terrones y tierra fina hacia la parte superior o hacia atrás. Los terrones, más pesados, son proyectados más lejos y tienen la tendencia, cuando caen, a recubrir la tierra fina.

La **velocidad de trabajo** tiene una influencia determinante en cualquiera de las acciones anteriormente mencionadas. Una velocidad elevada incrementa habitualmente la **fragmentación** de la zona trabajada. La mayor parte de los aperos para la preparación del suelo, los no accionados por la toma de fuerza, son sensibles: arados, aperos de dientes y de discos. Los **dientes flexibles** vibran más cuando trabajan a velocidades elevadas; su eficacia frente al desmenuzamiento aumenta. Para los aperos accionados a la toma de fuerza, al contrario de lo comentado hasta ahora, una reducción de la velocidad de avance tiende a aumentar la fragmentación (incremento del número de ciclos o vueltas del apero por metro trabajado).

LA PRACTICABILIDAD DE LOS SUELOS

La calidad de las operaciones de trabajo del suelo y siembra dependen:

- de la naturaleza del suelo (humedad, textura, estructura, propiedades físicas,...),
- del estado del suelo tras el precedente cultural,
- de la elección de los aperos y de la coherencia de su combinación,
- del tipo de cultivo a establecer.

La practicabilidad de un suelo traduce su aptitud a aceptar el paso de los tractores y la acción de los aperos; para una textura dada, esta practicabilidad depende estrechamente del grado de humedad del suelo (consistencia).

La intervención en una parcela poco practicable (humedad excesiva) puede conducir a degradaciones difíciles y costosas de corregir. La determinación del “grado de practicabilidad” es una labor exclusivamente empírica (reconocimiento, experiencia,...).

LA FISURACION DEL SUELO POR DEBAJO DE LA CAPA ARABLE

Esta operación consiste en mejorar la porosidad natural del subsuelo gracias a una labor de subsolado. El subsolado incrementa la porosidad de la capa de suelo situada por debajo de la tierra de labor para facilitar la penetración del sistema radicular. Es una labor que requiere grandes esfuerzos de tracción y que debe ser pensada anteriormente.

LA DESCOMPACTACION

Consiste en trabajar a nivel de la capa arable y a unos diez cm por debajo de esta. Su función es la de corregir las degradaciones estructurales debidas a las **suelas de labor** provocadas por los aperos (principalmente el arado de vertedera) y las excesivas **compactaciones** por el paso de las ruedas de tractores y cosechadoras. En terrenos de comportamiento arcilloso, los efectos del clima (fisuración y fragmentación provocadas por la sequía) pueden ser suficientes si el grado de compactación no es excesivo. Por el contrario, en suelos limosos, un descompactado puede ser necesario para retornar al estado normal.

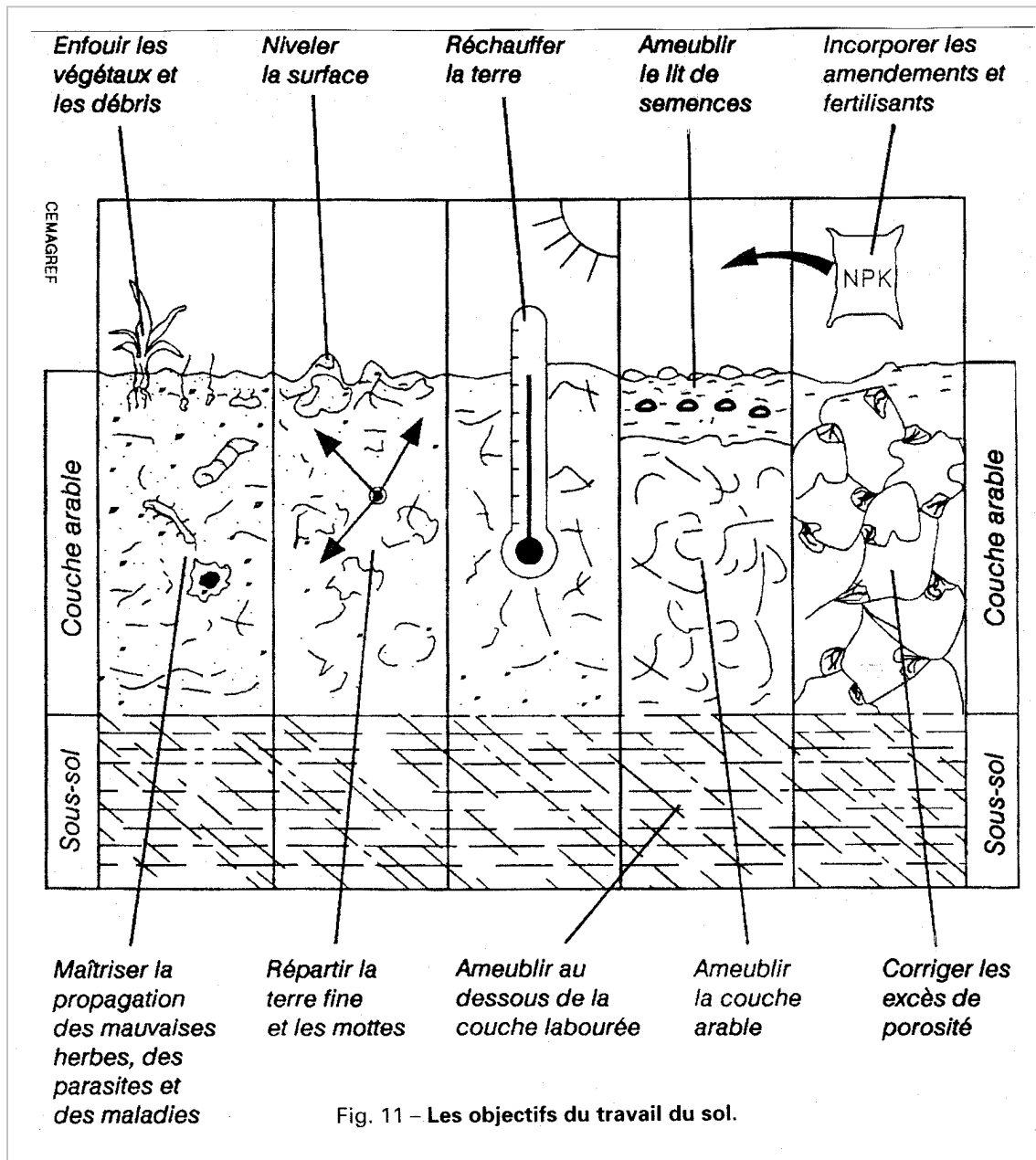


Fig. 11 – Les objectifs du travail du sol.

EL ENTERRADO DE RESTOS VEGETALES

Los **residuos vegetales** son enterrados y mezclados en el suelo por las diversas operaciones culturales, lo que facilita la realización de siembras en buenas condiciones con las sembradoras clásicas. La mezcla de residuos vegetales y partículas del terreno debe permitir el poner en contacto los restos con los microorganismos del suelo para favorecer su descomposición y posterior transformación en humus.

La localización de los restos vegetales (fuente de materia orgánica) en la capa arable depende de la técnica de trabajo del suelo empleada: **trabajo profundo con inversión del perfil** (labor), **trabajo profundo sin volteo** (pseudo-labor), **técnicas simplificadas** (trabajo superficial o siembra directa).

Desde un punto de vista agronómico, los restos vegetales deben localizarse en superficie mejor que en profundidad. El contenido en materia orgánica debe ser más elevado en la capa superficial (10 primeros centímetros), es decir en la interfase suelo-atmósfera. El enterrado en profundidad puede ser motivado por el obstáculo que suponen para el funcionamiento de los aperos de preparación del lecho de siembra o de las sembradoras.

Como ocurre para el resto de las acciones del trabajo del suelo, no puede realizarse todo con un único apero y la incorporación se realiza por la sucesión de actuaciones. Para la incorporación de residuos vegetales en la capa superficial se utilizan **instrumentos tradicionales de discos** o aperos específicos de **dientes** o **accionados**.

En la mayor parte de los casos, el **arado de vertedera** es el apero más utilizado para enterrar y mezclar los restos vegetales en todo el espesor de la capa arable. El **chisel** puede utilizarse para una localización de los mismos en los 10-15 cm superficiales. La profundidad y la calidad de mezclado dependen entonces del tipo de dientes utilizados.

LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS Y FERTILIZANTES

El enterrado de estiércoles y abonos en general es una labor generalmente realizada por el arado de vertedera, después de una eventual premezcla con un apero de discos o de dientes.

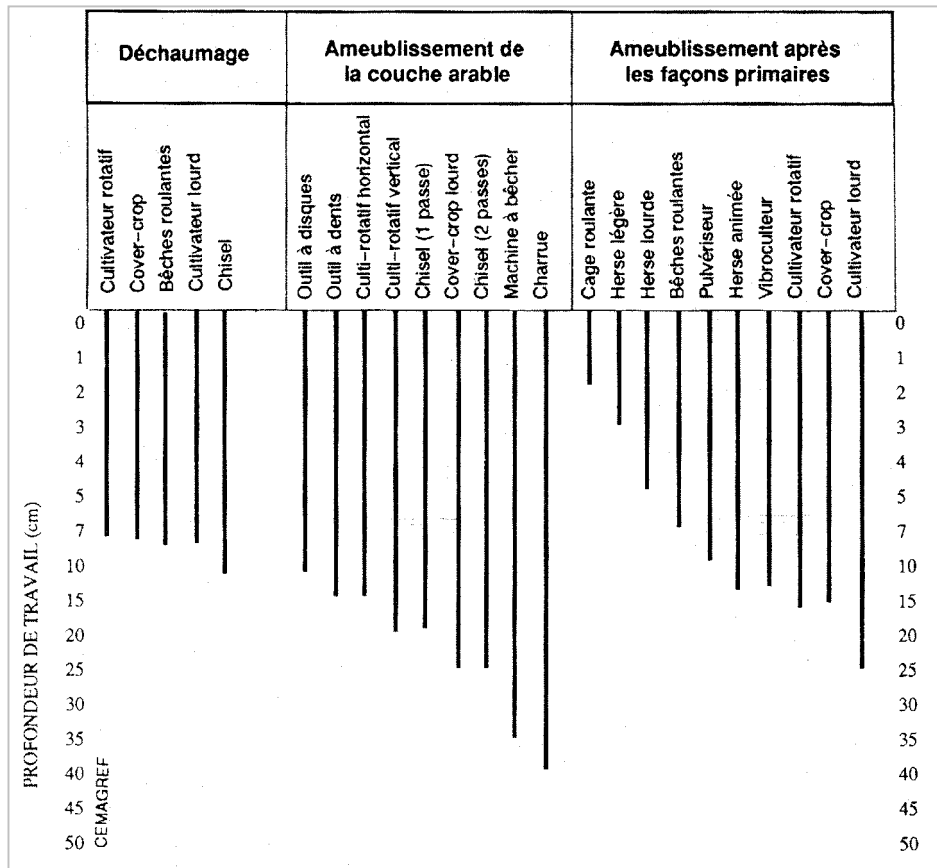
LA LOCALIZACIÓN DE LA TIERRA FINA Y LOS TERRONES

Tierra fina y terrones deben aparecer en proporciones diversas en función de los diferentes horizontes de la capa arable:

- **alrededor de las semillas**, la tierra fina debe predominar y la porosidad de la zona inmediatamente por debajo debe ser escasa y continua.

- **por encima de las semillas**, es conveniente (salvo el caso extremo de siembras de granos muy pequeños no enterrados) el disponer de una capa de pequeños terrones, con poca tierra fina y elevada porosidad.

- en el resto de la **capa arable**, los pequeños terrones (diámetro inferior a 3 cm) deben estar regularmente mezclados con las partículas mayores, contribuyendo al mantenimiento de la porosidad dentro de los límites aconsejables.



Esta localización preferencial de la tierra fina y de los terrones se presenta de forma diferente según los aperos utilizados y la humedad en el momento del trabajo. A continuación analizaremos los resultados obtenidos por la acción del arado de vertedera, los aperos de dientes y los rodillos “croskill”, en condiciones normales de humedad.

- **Arados de vertedera**

Tras la utilización del arado de vertedera, la tierra fina aparece parcialmente alrededor de los terrones dispersos en la zona labrada. En cualquier caso, las localizaciones preferenciales en superficie pueden deberse a la regulación de las **vertederas**, a la importancia del **frotamiento** entre tierra y metal o a la **velocidad de trabajo**.

- **Aperos de dientes**

Los dientes de un **vibrocultor** o de un cultivador desmenuzan la tierra. En suelos de consistencia friable el desplazamiento de los terrones puede generar una dislocación. **En los surcos formados por los dientes, la tierra fina tiende a descender en profundidad.**

- **Rodillos “croskills”**

Si los discos de estos rodillos se entierran en el suelo y giran a suficiente velocidad, sus asperezas y sus **diferencias de velocidad** pulverizan los terrones y colocan, por **selección**, una cantidad de tierra fina importante en superficie.

LA NIVELACIÓN DEL SUELO

Esta operación consiste en eliminar o aminorar los defectos de relieve del suelo generados bien por el cultivo precedente, bien por la labor del arado o bien por las huellas de los neumáticos de acciones anteriores.

De entre las razones que conducen al agricultor a corregir el relieve del suelo, podemos citar la necesidad de **asegurar un funcionamiento normal de la sembradora** (regularidad de la profundidad) y la de conseguir las mejores condiciones de funcionamiento de la cosechadora.

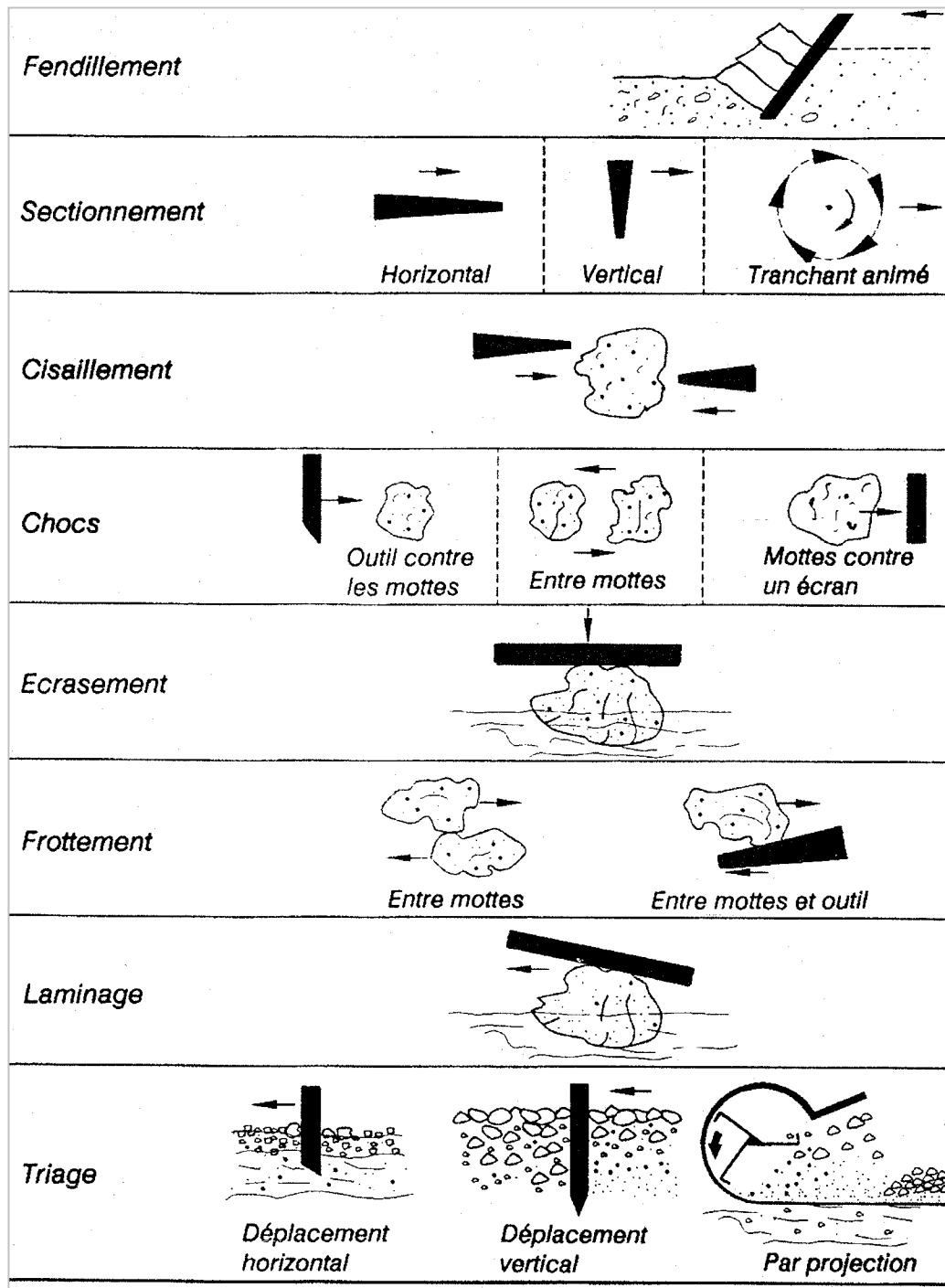
Los defectos en la nivelación generados por el cultivo precedente son los más difíciles de corregir. Su origen proviene a menudo de cosechas efectuadas en condiciones húmedas (remolacha, maíz grano, ...) y de las **rodadas** dejadas por las ruedas de los tractores y remolques. Si la labor no es suficiente (arado de vertedera) puede complementarse realizando antes o después un pase de chisel. Para corregir los defectos de nivelación después de labrar, las **gradas**, los **cultivadores**, los **aperos de dientes accionados** y los **rodillos** son, en función de la naturaleza del suelo, los que mayormente se utilizan, solos o en **combinación de aperos**.

LA FORMACIÓN DE LA CAMA DE SIEMBRA

El grado de desmenuzamiento requerido por la cama de siembra es netamente superior al del resto de la capa arable, incluso si las exigencias varían según los cultivos y las sembradoras utilizadas: las siembras de primavera requieren por ejemplo mayor cuidado que las de otoño; el maíz es menos exigente que la remolacha; las semillas pequeñas necesitan un desmenuzamiento superior que los granos gruesos. La presencia de destripaterrones en la parte delantera de las sembradoras de precisión o la incorporación de las semillas en el suelo por discos en lugar de rejas, permiten mayores tolerancias a la hora de preparar la cama de siembra.

Dos razones fundamentales pueden motivar la necesidad de un cierto grado de desmenuzamiento para el lecho de siembra:

- **la presencia de terrones demasiado grandes** perturba la correcta colocación de los granos, perjudica la creación de la capa de tierra de **estructura continua necesaria bajo los granos** para facilitar la **circulación de la humedad** hacia la semilla y su **germinación**. Terrones excesivamente grandes colocados en superficie sin ser destruidos pueden impedir la nascencia de las plántulas o reducir la eficacia de los herbicidas.



- **la tierra fina** debe aparecer en cantidad suficiente para facilitar la formación, tras la acción de los diferentes elementos de la sembradora, de una zona de **estructura continua alrededor** de la semilla.

En suelos sensibles a la formación de **costra**, un mínimo de terrones de tamaño ligeramente superior (5 cm) permitirá ralentizar el sellado del suelo, lo que favorecerá la nascencia.

Los aperos utilizados pueden ser muy distintos según la naturaleza del suelo y el cultivo a establecer. Las asociaciones de aperos son muy corrientes y el número de combinaciones extremadamente elevado (gradas accionadas, cultivadores de dientes, cultivadores accionados, rodillos, ...). En los casos más simples, la preparación de la cama de siembra se asocia a la propia labor de la siembra, con el fin de **disminuir el número de pasadas** y de **reducir las rodadas**, de **ahorrar tiempo** y de reducir la compactación y los costes de establecimiento del cultivo.

CONTROL DE MALAS HIERBAS, PARÁSITOS Y ENFERMEDADES

Las malas hierbas se destruyen por la acción del trabajo del suelo, bien por el enterrado (arado de vertedera) bien porque son arrancadas y colocadas en superficie para favorecer su desecación (aperos de dientes).

Bibliografía recomendada

- Bolla, P., Scotton, M.** (1987) Lineamenti di tecnica della meccanizzazione agricola. Edagricole, Bologna.
- Bonari, E.; Mazzoncini; Peruzzi, A.** (1992) Il corretto equilibrio fra fase solida, aria de acqua. M&MA-iMA, nº 6, 29-40.
- Bonari, E.; Mazzoncini; Peruzzi, A.** (1992) Lavorazioni e caratteristiche fisiche del terreno M&MA-iMA, nº 6, 41-47.
- Bonari, E.; Mazzoncini; Peruzzi, A.** (1992) Tempi di intervento e consumi di gasolio M&MA-iMA, nº 6, 48-54.
- Cera, M.** (1992) Gli interventi devono essere "ecocompatibili". M&MA-iMA, nº 6, 26-28.
- Febo, P.** (1991) Il compattamento del terreno: che cs'è e come si presenta. M&MA - iMA, Nº 10; 56-62.
- ITCF** (1993) Les matériels de travail du sol, semis et plantation. Collection FORMAGRI, Vol. 3. France.
- Marsili, A.; Servadio, P.** (1991) Influenza dei pneumatici sul compattamento del suolo. M&MA - iMA, Nº 6; 33-37.
- Ortiz-Cañavate, J.**(1993) Las máquinas agrícolas y su aplicación. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Pellizzi, G.** (1987) Meccanica e meccanizzazione agricola. Edagricole, Bologna.
- Pessina, D.** (1991) Come si può ridurre il compattamento. M&MA - iMA, Nº 10; 63-74.

***LA SIEMBRA Y LA ARQUITECTURA DE LAS
SEMBRADORAS***

La implantación de los cultivos constituye una parte importante de las cargas variables (operacionales) de las explotaciones agrícolas. En términos de gestión, la siembra es una operación determinante, tanto por su coste (trabajo del suelo y siembra propiamente dicha) como por la calidad de su realización, con repercusiones posibles sobre el rendimiento de los cultivos.

Frecuentemente realizadas tras una labor y una preparación superficial, las siembras se efectúan, en función de la naturaleza de los granos, con sembradoras en líneas o sembradoras monograno. Antes de realizar un análisis tecnológico de las sembradoras es conveniente abordar de manera simplificada los aspectos biológicos y agronómicos de la siembra.

EL PROCESO DE GERMINACIÓN Y NASCENCIA DE LAS PLANTAS

Los granos son pequeños **almacenes bioquímicos** que contienen los **elementos genéticos** de la planta y las **reservas nutritivas** suficientes para permitir la **germinación** y la alimentación de la **plántula**. El proceso de la germinación está estrechamente ligado a la presencia de **agua**; durante el periodo de conservación, el **poder germinativo** de los granos está bloqueado por el ambiente seco durante el almacenamiento; tras la siembra, el grano, en contacto con el medio húmedo de la **cama de siembra**, germina y se transforma poco a poco en una plántula. Es este estadio, la plántula crece a partir de las reservas nutritivas del grano, desarrollando un tallo y **raíces primitivas**. Cuando este primitivo tallo emerge, se inicia la nascencia, la planta se libera poco a poco de la dependencia de la semilla gracias al desarrollo de su sistema radicular y de sus **partes aéreas**. El **desarrollo radicular** permite la nutrición de la planta, el desarrollo de la parte aérea permite la **función clorofílica** y la **fotosíntesis**.

En este proceso de germinación y nascencia, el agua es un factor esencial, siempre que la temperatura y la aireación del suelo sean suficientes, y siempre que la progresión del tallo y de las raíces no se vea bloqueado por un suelo demasiado duro.

LA CAMA DE SIEMBRA

La cama de siembra designa la parte superficial del suelo que recibe los granos de siembra y que les permite germinar y desarrollar las plántulas. Su preparación es determinante para asegurar una **tasa de germinación** elevada. Recordemos que el valor germinativo de un lote de semillas depende del estado de la parcela sembrada (estructura del suelo) y de las condiciones climáticas, antes, durante y después de la siembra.

La cama de siembra debe corresponder a una estructura favorable a la **respiración** del grano y a los **intercambios de agua** que se establecen por **capilaridad** entre los agregados del suelo y los granos.

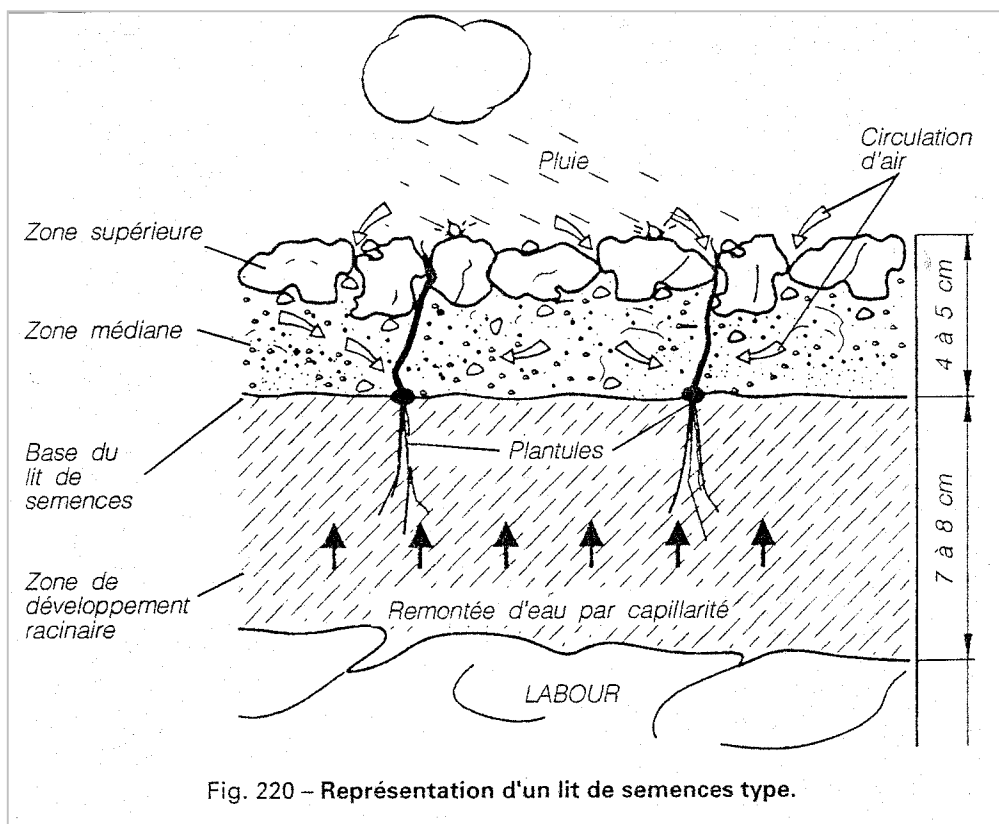
De manera esquemática, es posible resumir el funcionamiento de una cama de siembra por las observaciones siguientes:

- una **estructura fina** de agregados del suelo favorece al intercambio de agua y dificulta los intercambios de oxígeno.

- una **estructura gruesa** dificulta los intercambios hídricos, pero favorece los intercambios de oxígeno.

En teoría, se estima que el óptimo se alcanza cuando el **40% de las partículas del suelo, comprendidas en la cama de siembra, tienen un diámetro inferior al de los granos sembrados.**

Un lecho de siembra tipo está formado por cuatro zonas: **la base o fondo del lecho, la zona media en contacto con el grano, la zona superior en contacto con el aire y la zona de desarrollo radicular.**



- **la base de la cama de siembra** debe ser lo suficientemente compacta para permitir la transferencia de agua por capilaridad, y lo suficientemente fisurada para permitir el desarrollo de las raíces.

- **la zona media** está constituida de una cobertura de tierra fina en contacto directo con la semilla, con el fin de envolverla y transmitirle la humedad suficiente.

- **la zona superior** presenta un número importante de terrones, con el fin de limitar la formación de costra superficial, facilitar el recalentamiento y la aireación del suelo y limitar la evaporación.

- **la zona de desarrollo radicular** debe ser lo suficientemente compacta como para permitir la ascensión del agua por capilaridad y asegurar un buen contacto con las raíces.

La preparación de la cama de siembra se asegura por las acciones culturales superficiales realizadas con anterioridad a la siembra, por los aperos de discos o dientes y/o por los equipos accionados, así como por los rodillos. Según el caso, estas operaciones pueden descomponerse en varias fases separadas o en un solo pase, o bine de forma integrada con la sembradora.

En el momento de la siembra, los órganos de enterrado, de compactado y de recubrimiento de las sembradoras modifican sensiblemente la cama de siembra. Así, en la línea de siembra, la tierra se encuentra más desmenuzada y con un mayor grado de compactación (sembradoras monograno) que en los espacios entre líneas; este estado diferencial del suelo permite alcanzar las condiciones favorables a la germinación y a la nascencia, ya que se mantiene una porosidad suficiente entre hileras para absorber el agua de lluvia y facilitar la aireación. Podemos entonces decir que la **cama de siembra** corresponde a un estado del suelo favorable a la siembra y que la banda de tierra trabajada por la sembradora es un “**lecho de germinación**” de los granos.

LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SIEMBRA

Las principales características de una siembra son la **profundidad**, la **densidad** y la **regularidad**.

- **La profundidad de siembra**

Los granos deben ser colocados a una profundidad regular. Es este un factor fundamental para el éxito de la siembra y que es importante predefinir. La velocidad de avance de la sembradora influye de forma determinante en él.

El mantenimiento de la profundidad de siembra es tanto más importante cuanto más pequeñas son las semillas. Los granos pequeños no tienen siempre la energía germinativa para atravesar la capa de tierra más o menos densa que los recubre. Por ejemplo, una siembra efectuada a una profundidad de 1.5 cm dará un porcentaje de nascencia del 85%, mientras que otra efectuada con los mismos granos, pero 3 cm de profundidad solamente ofrecerá un 65% de nascencia (a igualdad de condiciones). La profundidad óptima depende del tipo de grano, de la naturaleza del suelo y de las condiciones climáticas.

Una siembra demasiado superficial, sobre todo si está más recubierta, expone los granos a las variaciones térmicas, a una falta de humedad, a la acción del viento y de los pájaros.

La tabla adjunta indica la profundidad de siembra de los cultivos más habituales. Las amplitudes marcadas no indican tolerancias, sino que corresponden a las variaciones de profundidad utilizadas en diferentes zonas en función de la naturaleza del suelo y de la humedad:

PROFUNDIDADES DE SIEMBRA ACONSEJADAS			
Cultivo	Profundidad (cm)	Cultivo	Profundidad (cm)
Cereales	2 - 3	Remolacha	2 - 3
Guisante prot.	4 - 6	Maíz	2 - 6
Colza	2 - 4	Sorgo	2 - 3
Soja	2 - 5	Alfalfa	1 - 2
Girasol	2 - 4		

- **La densidad de siembra y la población por hectárea**

Un exceso de plantas por unidad de superficie genera competencia entre ellas: en un suelo pobre el sistema radicular se desarrolla mucho más a causa del **esfuerzo de prospección** que deben realizar; en un suelo demasiado rico, las partes aéreas del cultivo entran en competencia generando un factor de desequilibrio. Si se desea evitar estas competiciones, es necesario adaptar la **distancia entre semillas al potencial de fertilidad del suelo**.

La densidad de semillas D se expresa en granos por metro cuadrado (**gr/m²**); depende del número (**nL**) de granos depositados por metro lineal (**gr/m**) y del espacio entre hileras (espacio **eR**).

$$D = \frac{nL}{eR}$$

El número de granos por metro lineal será igual a:

$$nL = D \times eR$$

El espaciamiento eL de los granos en la línea será igual a:

$$eL = \frac{1}{nL}$$

Supongamos dos ejemplos, una siembra de trigo con una densidad de 200 gr/m² con una separación entre hileras de 0,12 m, y una siembra de maíz con una densidad de 20 gr/m² con separación entre hileras de 0,70 m:

- para el ejemplo del trigo:

$$D = \frac{nL}{0,12} = 200; \quad nL = 200 \times 0,12 = 24; \quad \text{y } eL = \frac{1}{24} = 0,042 \text{ m}$$

El número nL de granos por metro es igual a 24 gr/m con un espaciamiento medio de 0,042 m (4,2 cm).

- para el ejemplo del maíz:

$$D = \frac{nL}{0,70} = 10 ; \quad nL = 10 \times 0,70 = 7; \quad \text{y } eL = \frac{1}{7} = 0,14 \text{ m}$$

El número de granos por metro es igual a 7 gr/m con un espaciamiento medio de 0,14 m (14 cm).

La cantidad de granos por hectárea (ngH) tiene el mismo significado que la densidad, aplicándose a una superficie de 10.000 metros cuadrados:

$$ngH = D \times 10.000$$

Esta cantidad de granos por hectárea no debe confundirse con el **número de plantas por hectárea (npH)** que hace referencia únicamente al número de plantas nacidas de forma eficaz. Para una parcela determinada, la diferencia **ngH - npH** corresponde a los granos no nacidos. Por lo tanto podemos definir la tasa de nascencia a la relación:

$$\text{Tasa de nascencia} = \frac{npH}{ngH} \times 100$$

- **La dosis de siembra**

Expresada en kg/ha, depende de la densidad de semillas deseada (ngH) y del peso de mil granos (Pmg):

$$\text{Dosis de siembra} = \frac{ngH \times Pmg}{1.000.000} = \text{kg/ha}$$

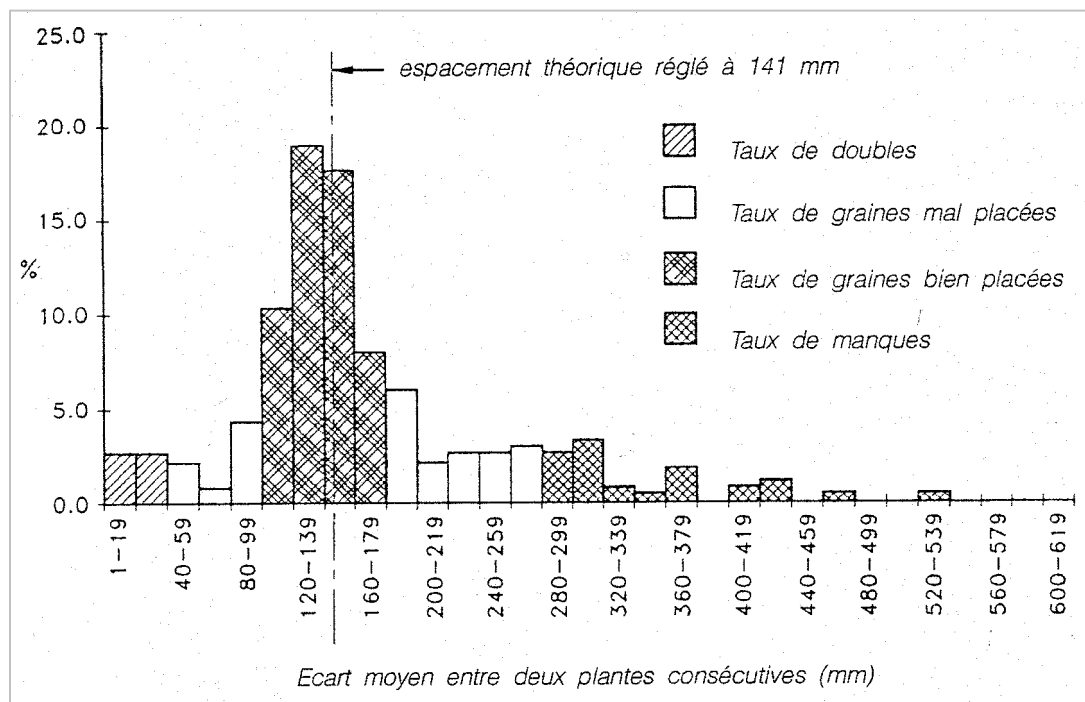
- **Regularidad de una siembra**

La regularidad de una siembra hace referencia a la precisión con la que la sembradora respeta las premisas establecidas referentes a las tres reglas fundamentales: espacio entre hileras, distancia entre granos en la hilera y profundidad de siembra.

- **la regularidad del espaciamiento entre hileras** no presenta, en general, demasiados problemas, ya que esta regulación se ve poco afectada por las condiciones de trabajo.

- **la regularidad del espaciamiento de los granos en la línea** es el factor más importante para asegurar el espacio vital de desarrollo de las plantas. Esta regularidad depende fundamentalmente de los sistemas de selección y distribución de los granos, así como del sistema de conducción y transporte de los mismos hasta los elementos enterradores. Existen métodos estadísticos para la determinación de la calidad de siembra de las diferentes máquinas (especialmente para las siembras monograno).

- **la regularidad en la profundidad** es más difícil de obtener, ya que depende directamente de las características de la cama de siembra, de la eficacia de los órganos de enterrado de las sembradoras y de la velocidad de avance.



FUNCIÓN DE LAS SEMBRADORAS Y TIPOS PRINCIPALES

Las sembradoras deben colocar la semilla de la manera más favorable para obtener la densidad de plantas deseada. Esto presupone:

- **una localización precisa en el plano horizontal**, tanto en el sentido de avance como entre líneas.
- **una localización regular a la profundidad óptima.**
- **un respeto a la integridad del grano** tras su circulación a través de los órganos de distribución. Roturas en los granos pueden provocar notables disminuciones en la tasa de germinación.

Normalmente los granos de cereales, de oleaginosas y de forrajeras se colocan en el terreno utilizando **sembradoras en líneas** convencionales, mientras que cultivos como la remolacha, el maíz, las judías, etc. se siembran con **sembradoras monograno**. Las **sembradoras polivalentes** están todavía en fase de desarrollo y experimentación para permitir la siembra de una gama más amplia de cultivos e incluso la siembra de cereales con mayor precisión y regularidad que las sembradoras en líneas convencionales.

- **Sembradoras en líneas convencionales**

La distribución de las semillas se realiza siguiendo unas líneas paralelas entre ellas, sin precisión en el espaciamiento entre granos dentro de la línea. El sistema de dosificación puede ser de tipo mecánico o neumático y permiten únicamente el control del volumen de semilla distribuido.

- **Sembradoras monograno**

Concebidas para siembras de cultivos con exigencias importantes tanto en cuanto a distancia entre hileras como a distancia entre granos dentro de la hilera, distribuyen los granos uno a uno. Mayoritariamente utilizan un sistema de dosificación del tipo neumático, lo que les permite una gran adaptabilidad al tamaño y forma de los granos.

ARQUITECTURA DE LAS SEMBRADORAS

Se presenta a continuación un análisis esquemático de las diferentes configuraciones arquitectónicas que pueden utilizarse en función de los diferentes principios de distribución, dosificación y transporte de los granos.

- **Dispositivos de distribución**

Para las sembradoras en líneas convencionales, el control del flujo de semillas se efectúa por un sistema de distribución (rodillos acanalados, ruedas dentadas, ...) que controla únicamente el caudal de granos, sin precisar su número y su espaciamiento.

Para las sembradoras monograno, los **granos** son extraídos por un distribuidor y seleccionados por un selector; podemos distinguir entre **distribuidores mecánicos** y **distribuidores neumáticos**.

- **La selección de granos**

La selección de los granos es indispensable en el caso de siembras monograno; consiste en eliminar los eventuales **dobles** para dejar solamente uno en cada uno de los alojamientos del distribuidor. La selección se efectúa generalmente por la acción mecánica de un selector.

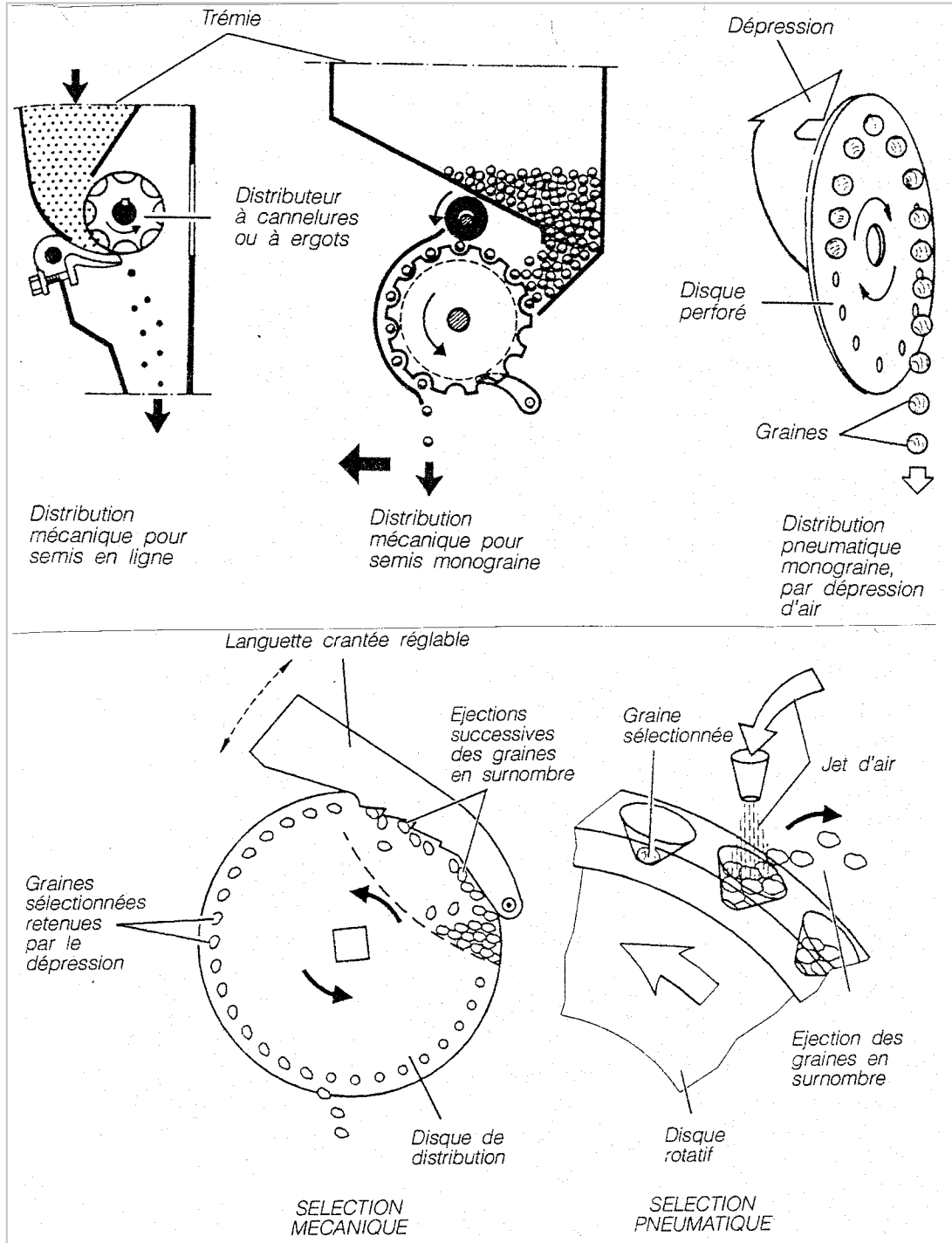
- **El transporte de los granos**

Entre los dispositivos de distribución y los órganos de enterrado, los granos pueden ser transportados bien por gravedad bien por una corriente de aire.

- **el transporte por gravedad**

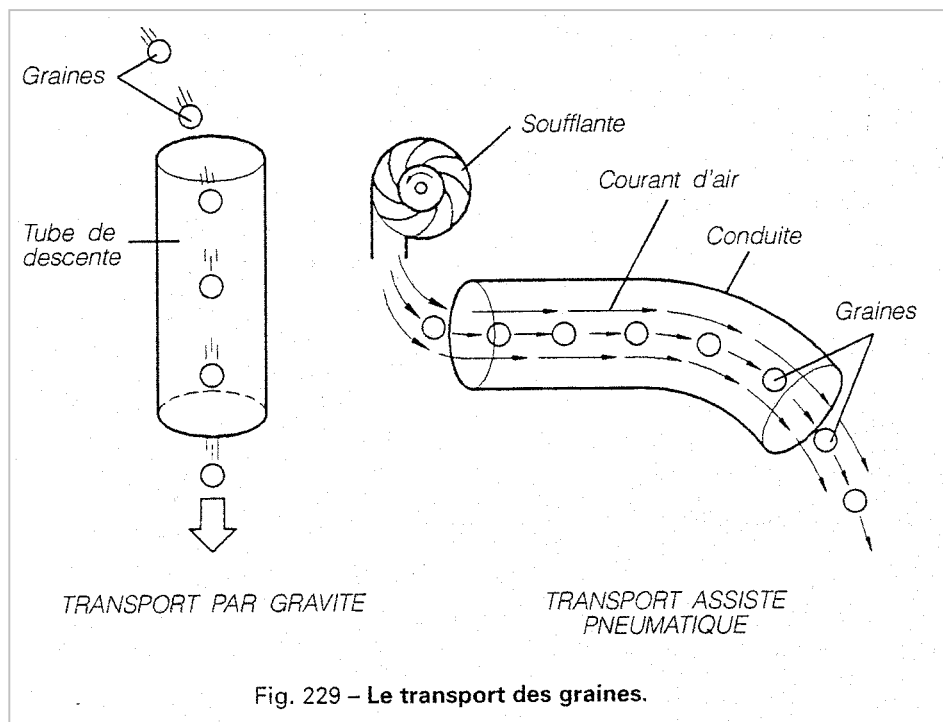
Utilizado mayoritariamente en las sembradoras monograno clásicas, dado que la distancia que separa el distribuidor del elemento enterrador es pequeña. De todas maneras, la precisión en la colocación de los granos se ve afectada por los movimientos y rebotes a que el grano es sometido.

Para las sembradoras en líneas convencionales, la distribución es mecánica o neumática, y el transporte por gravedad. La medida en que este tipo de transporte afecta a la calidad de distribución depende de la longitud del tubo de caída de las semillas.



- el transporte neumático

Es el más utilizado para las sembradoras en líneas de gran anchura de trabajo (4 a 8 metros), para las cuales la distribución es mecánica. Este transporte neumático consiste en asistir el desplazamiento de los granos utilizando una corriente de aire generada por un ventilador o una turbina.



• Diferentes configuraciones de las sembradoras

A grandes rasgos, podemos distinguir seis configuraciones de sembradoras en función de la posición de la tolva, el modo de distribución de las semillas y su forma de transporte:

- un **distribuidor individual** a nivel de cada hilera, con **transporte del grano por gravedad** y una tolva por distribuidor. Hay tantos elementos distribuidores como hileras. Configuración típica de las sembradoras monograno.

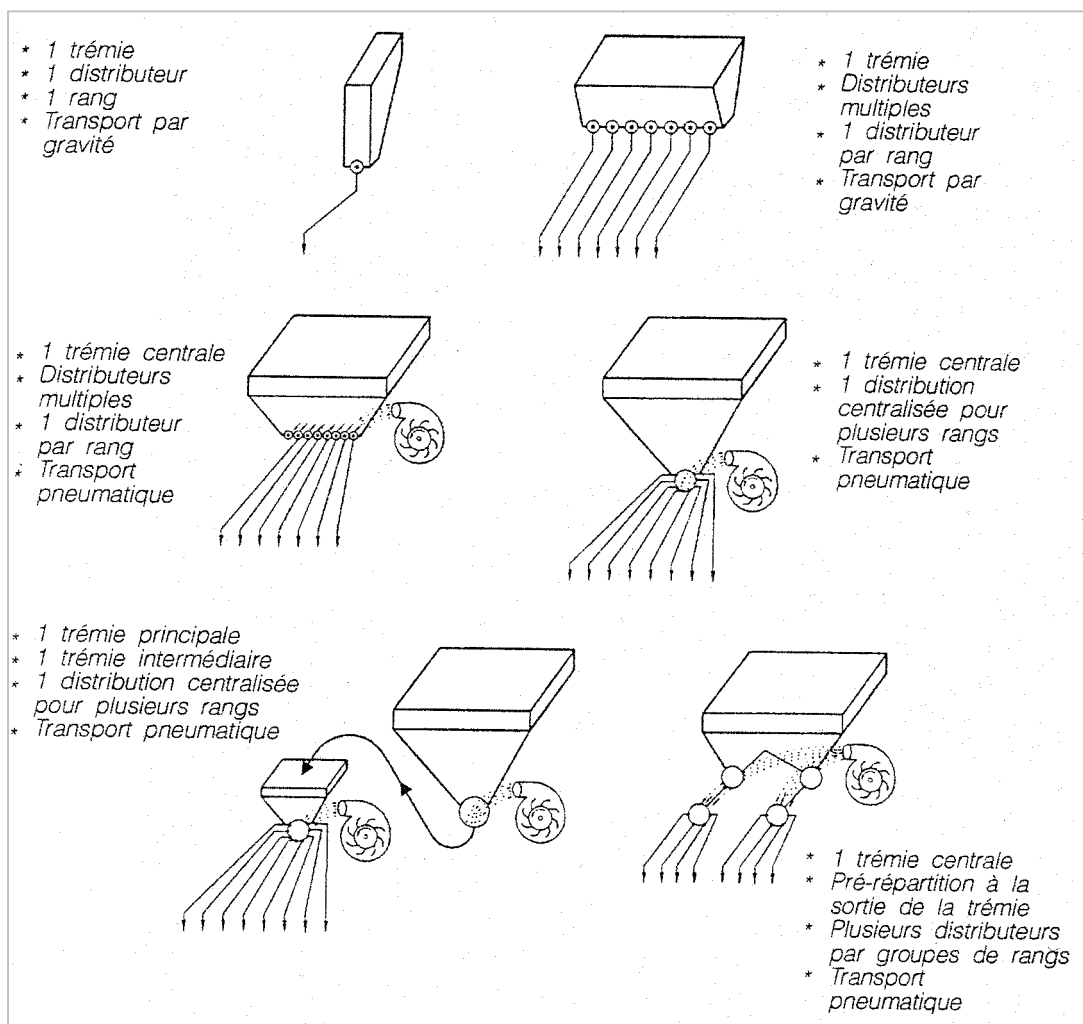
- un **distribuidor individual** para cada hilera, con **transporte de las semillas por gravedad** y una tolva central única. La anchura de la tolva coincide con la anchura de trabajo de la máquina. Característico de las sembradoras en líneas convencionales.

- un **distribuidor individual** para cada hilera con **transporte asistido**. En este caso la anchura de trabajo puede ser superior a la de la máquina. Sembradoras en línea con transporte neumático.

- un **distribuidor centralizado** con tolva única central y transporte **asistido**. Las sembradoras en línea neumáticas más utilizadas pertenecen a este grupo.

- un **distribuidor centralizado** a partir de una **tolva intermediaria**, con **transporte asistido**.

- **varios distribuidores** alimentando cada uno de ellos a un grupo más o menos grande de tubos de semilla, y **transporte asistido** por aire. Sembradoras en líneas de distribución neumática de gran capacidad.



BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

Barthelemy, P., Boisgontier, D., Lajoux, P. (1989) Choisir les outils de semis. ITCF, France.

Bernat, C.; Gil, E. (1993) Equipos combinados para la preparación del suelo y la siembra. Maquinas y Tractores, N^o 7/8, 43-48.

Bolli, P., Scotton, M. (1987) Lineamenti di tecnica della meccanizzazione agricola. Edagricole, Bologna.

Demaldé, R. (1991) La seminatrice e la sue applicazioni. M&MA - iMA, N^o 4; 33-66.

ITCF (1993) Les matériels de travail du sol, semis et plantation. Collection FORMAGRI, Vol. 3. France.

Ortiz-Cañavate, J.(1993) Las máquinas agrícolas y su aplicación. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Pellizzi, G. (1987) Meccanica e meccanizzazione agricola. Edagricole, Bologna.