3.5. Les machines élémentaires du levage

3.5.1. Les poulies

La poulie est un dispositif mécanique de levage ou de traction, comprenant un disque monté sur un axe, équipé d'un cordage, d'un câble ou d'une chaîne passant autour de la circonférence du disque (la jante). La poulie, de même que la roue sur son axe, peuvent toutes deux être considérées comme des machines simples, correspondant à des cas particuliers du levier.

On distingue deux familles de poulies :

a) poulie fixe

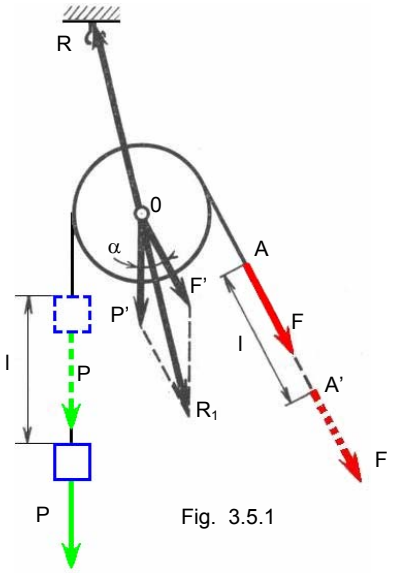

Fig. 3.5.1

Une poulie fixe ne produit aucun avantage mécanique; c'est-à-dire qu'elle ne permet aucun gain dans la transmission de la force. Seule la direction de la force appliquée au câble de tirage est modifiée.

b) poulie mobile

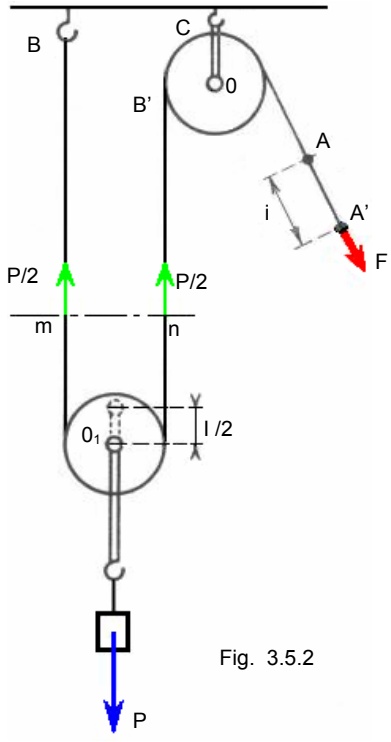

Fig. 3.5.2

La poulie mobile supporte la charge P à soulever par l'intermédiaire d'une chape fixée en O_1. Cette poulie est elle même portée par un câble dont l'une des extrémité est fixée au point fixe B et l'autre s'enroule autour d'une poulie fixe.
Ce dispositif a pour caractéristiques :

- Chaque brin est soumis à une contrainte égale à la moitié de charge à soulever
- l'effort à exercer est aussi égal à la moitié de la charge :

$$F = M . g / 2$$

- la hauteur de montée de la charge est la moitié de la longueur du câble tiré.

3.5.2. Le mouflage

Le mouflage est le cheminement du câble entre le tambour et le palonnier (crochet) ; ce chemin transite nécessairement par des poulies fixes et mobiles.

Le palan simple représenté ci-dessous est composé par deux ensembles de 3 poulies montées sur les axes O O' et O_1 O'_1 appelés moufles, l'un est fixe et l'autre mobile soulève la charge.

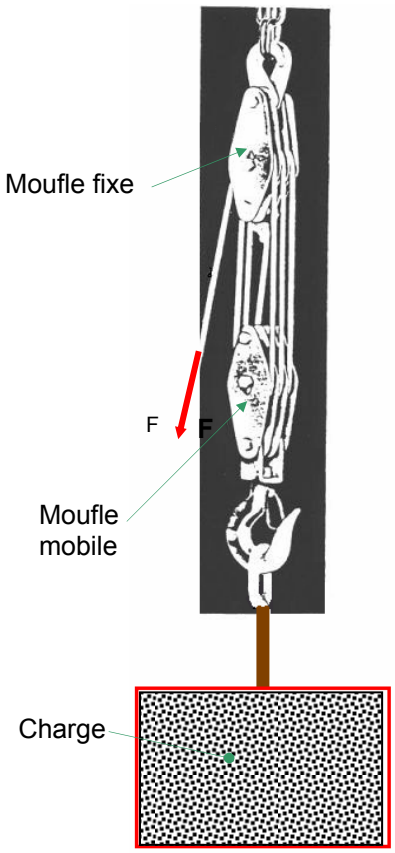

Fig. 3.5.3 a

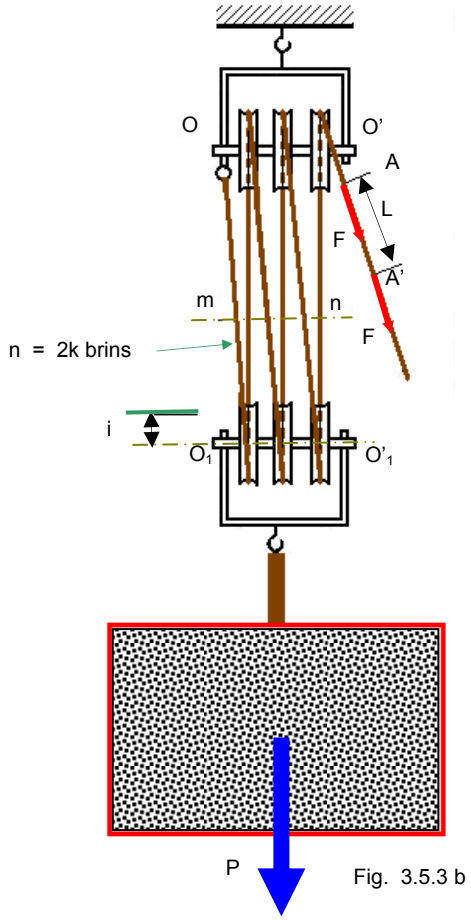

Fig. 3.5.3 b

Le câble fixé en O à l'axe supérieur, s'enroule sur une poulie inférieure, puis sur la poulie supérieure correspondante, puis revient sur la poulie inférieure, et ainsi de suite.
Finalement le câble aboutit au point A où s'exerce la force motrice du palan.
Si k est le nombre de poulies par moufle, il y a n = 2k brins sensiblement parallèles pour supporter la charge.
Chaque couple de brins passant sur une poulie libre de tourner est également tendu.
En raisonnant de proche en proche, on voit que tous les brins, dont celui moteur, sont soumis à une même tension P / n. On a donc:

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

Le mouflage réduit ainsi l'effort par brin. Si n est le nombre de brins, on obtient un rapport de réduction égal à n entre la vitesse d'enroulement du câble de traction et celle de la charge.

Les frottements engendrés sont importants et réduisent l'avantage mécanique réel obtenu, ce qui limite, d'ordinaire, le nombre total de poulies utilisables à quatre.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que si le câble a été tiré d'une longueur L à partir du point A, le moufle mobile est remonté d'une hauteur :

$$l = \frac{L}{n}$$

➢ Exemple de mouflage sur le levage d'un pont roulant ou d'un portique:

Dans l'exemple ci-dessous, le mouflage est dit redondant à deux câbles, c'est à dire que si l'un des câbles venait à se rompre, la charge serait encore maintenue par le deuxième.
Chaque câble part d'un point fixe (les deux points fixes sont sur un palonnier d'équilibrage sur le chariot) et s'enroule sur les poulies du palonnier de charge, sur une poulie de renvoi sur chariot et sur le tambour de levage.

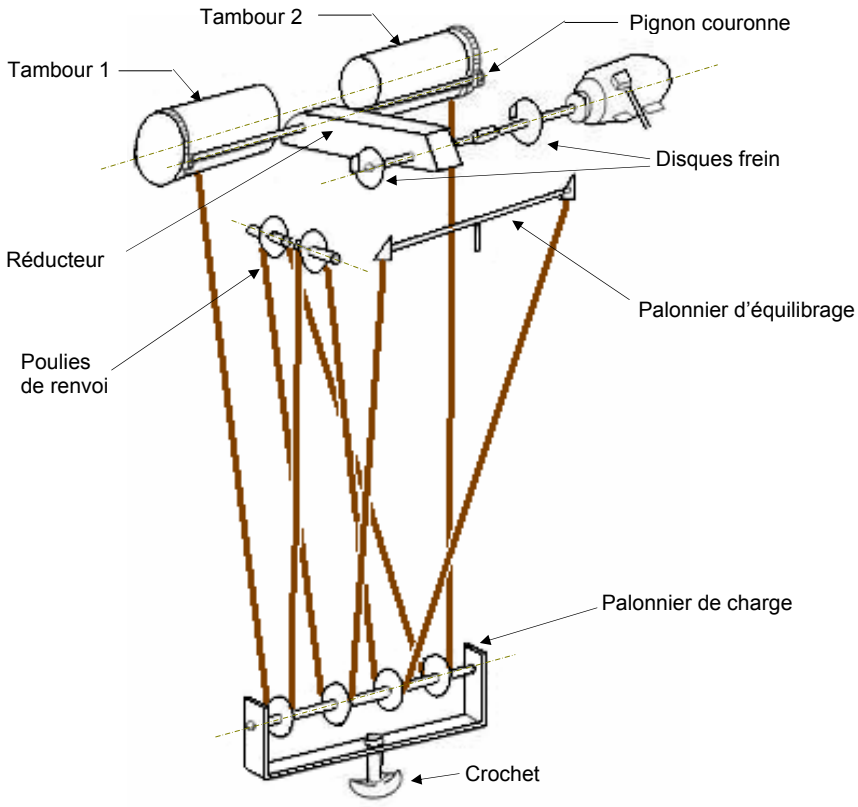

Fig. 3.5.4

3.5.3. La benne preneuse automatique

3.5.3.1. Fonctionnement

Les bennes sont constituées par deux coquilles pouvant se fermer ou s'ouvrir sous l'action d'un mécanisme multiplicateur d'effort, généralement constitué par deux groupes de poulies mouflées.

Fig. 3.5.5

Le treuil possède deux tambours indépendants. La tête de la benne est suspendue à l'un des tambours, dit de SUSPENSION, L'autre dit de FERMETURE enroule ou déroule le câble commandant le mécanisme de fermeture et d'ouverture. La benne monte ou descend quand les deux tambours tournent à la même vitesse (marche synchronisée). Elle s'ouvre ou se ferme quand les tambours tournent à des vitesses différentes.

Considérons une benne dont le système de fermeture est un mouflage à n brins (figures 3.5.6 et 3.5.7). On peut fermer cette benne, soit en remontant les poulies inférieures qui viennent de X en Y (Fig. 3.5.6), soit en descendant les poulies supérieures qui vont de X' en Y' (Fig. 3.5.7), soit en déplaçant simultanément, ou successivement, les deux groupes de poulies. Dans les deux premiers cas, la course des poulies que l'on déplace est égale à C ; dans le troisième cas, c'est la somme des courses des deux groupes de poulies qui est égale à C

Supposons la benne ouverte suspendue à son câble de suspension S et que l'on fasse la fermeture en tirant sur le câble de fermeture F. Les poulies inférieures vont venir de X en Y et tous les brins du mouflage vont se raccourcir d'une longueur égale à la course C ; le câble de fermeture se raccourcit de la même longueur de sorte que la longueur totale prise à ce câble est :

$$L_F = (n + 1).C \qquad ①$$

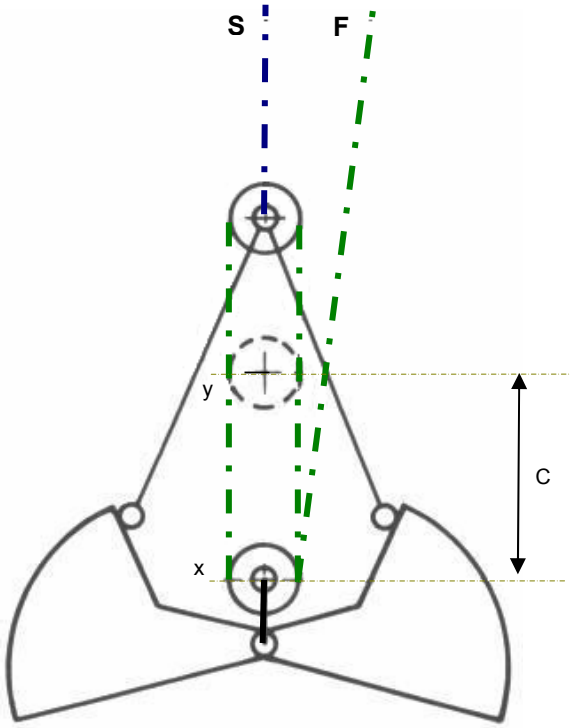

Fig. 3.5.6

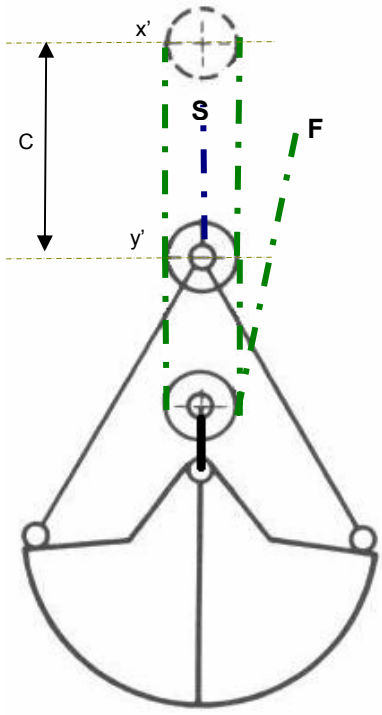

Fig. 3.5.7

Supposons maintenant qu'on lâche le câble de suspension, celui de fermeture restant fixe. La benne descend. La longueur du câble F augmente d'une quantité égale à la hauteur dont descend l'axe des poulies inférieures, mais cette quantité est nécessairement prise aux n brins du mouflage ; il en résulte que les deux groupes de poulies se rapprochent et que la benne se ferme. Quand la distance entre les axes des poulies a diminué d'une quantité égale à la course C, la benne est complètement fermée ; la longueur totale nC de câble prise au mouflage a été transférée au câble F de fermeture, c'est à dire que les poulies inférieures ont descendu d'une hauteur égale à nC. Les poulies de tête ont descendu de cette même hauteur augmentée de la hauteur C dont elles se sont rapprochées par rapport aux poulies inférieures. La longueur de câble déroulée par le tambour de suspension est donc :

$$L_S = C + n.C = (n + 1).C \qquad \text{(valeur égale à ①)}$$

Cela explique que l'on évite de fermer une benne en lâchant son câble de suspension car elle descendrait, en effet, d'une hauteur importante (plusieurs mètres) ce qui serait souvent gênant à la conduite de l'engin.

On constate que $L_F = L_S$ = Constante. Cette constante ne dépend que de la taille et de l'épure de la benne.

On peut enfin fermer la benne en combinant les mouvements des deux tambours, c'est à dire en agissant successivement ou simultanément sur leur sens ou sur leur vitesse. La fermeture est accomplie quand on a donné au câble enroulé sur le tambour de fermeture un raccourcissement relatif par rapport au câble enroulé sur le tambour de suspension égal à la constante de la benne.

$$\mathbf{L = (n + 1).C = Constante}$$

3.5.3.2. Fermeture de la benne sur le «tas»

Supposons la benne posée sur le tas de matière à manutentionner et que l'on fasse tourner le tambour de fermeture dans le sens montée. Comme nous l'avons vu précédemment, l'effort exercé sur le câble provoque le rapprochement des poulies du mouflage et la benne se ferme.

Deux cas sont à considérer :

1) Le câble de suspension est maintenu mou

   Si F est la force appliquée au câble de fermeture et n le nombre des brins du mouflage, la force agissant sur les poulies supérieures est n F et celle agissant sur les poulies inférieures est (n+1) F. Les réactions que la matière oppose à la fermeture sont R et R' (voir figure 3.5.8 ci-dessous).

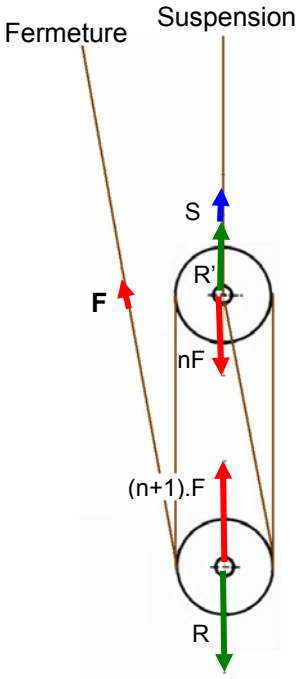

Fig. 3.5.8

La condition d'équilibre pour que la benne puisse se fermer est donc :

$$\mathbf{F.(2n+1) = R + R'}$$

Si le second terme de cette relation devient supérieur au premier, c'est à dire si la réaction opposée par la matière est trop grande ou identiquement si la multiplication de la force F provoquée par le mouflage est insuffisante, la benne ne peut achever sa fermeture.
D'autre part, si P est le poids de la benne et r la réaction du tas par rapport à ce poids, l'équilibre des forces extérieures s'écrit :

$$F + r - P = 0$$

ou encore

$$\mathbf{F = P - r}$$

Si F augmente, r diminue ; à la limite F = P et la réaction du tas s'annule.
On constate ainsi, que la tension F du câble de fermeture ne peut être supérieure au poids de la benne et de la matière déjà prise, sans quoi la benne se lèverait incomplètement fermée.

2) Le câble de suspension est tendu

Soit S la tension appliquée au câble de suspension, la force appliquée aux poulies supérieures et transmise aux tirants de la benne n'est plus n F mais n.F – S. L'effort de fermeture se trouve donc être affaibli.

D'autre part, l'épure de la benne est telle que les coquilles sortent de la matière quand la tête n'est pas libre de descendre (Fig. 3.5.9). Aussi, pour que la benne puisse se remplir correctement, il faut donc que le câble de suspension reste non tendu.
On applique souvent au tambour de suspension un couple dans le sens de la montée pour résorber la longueur de mou donnée au câble quand on pose la benne. Ce couple doit rester très faible afin de ne pas gêner la fermeture.

Nota :

Pour simplifier la figure, le mouflage n'a pas été représenté

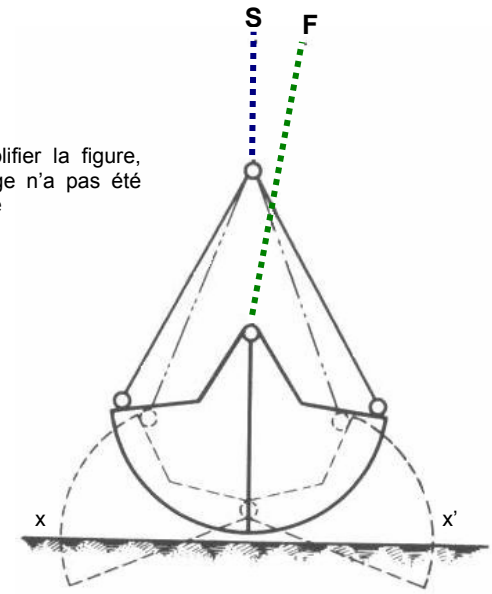

Fig. 3.5.9

3.5.3.3. Conditions de montée et descente de la benne en position fermée

Reprenons les notations précédentes **P** le poids de la benne, **S** la tension du câble de suspension **F** celle du câble de fermeture ; la tension de chaque brin du mouflage est également F.
Une partie a.P du poids P transmise par les tirants, est appliquée à l'axe des poulies supérieures, en liaison directe avec le câble de suspension, l'autre partie, b.P, est appliquée à l'axe des poulies inférieures.

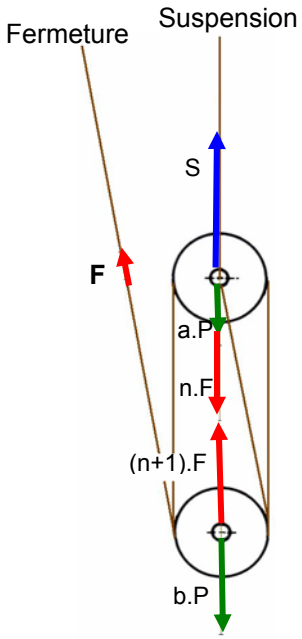

Fig. 3.5.10

L'équilibre du système est donc le suivant :

$S = a.P + n.F$ et $b.P = (n + 1).F$ soit

$$F = b.P / (n + 1)$$

Pour que la benne reste fermée, il suffit donc que la tension F du câble de fermeture ne représente qu'une faible fraction du poids P de la benne.

Exemple :

Considérons une benne à fermeture rapide de 3 brins et admettons que la répartition des forces au niveau des poulies soit de 0.4.P pour les poulies de la tête de benne et 0.6.P pour les poulies inférieures du mouflage. On obtient alors :

$F = 0,6.P / 4 \Rightarrow F = 0,15.P$ et $S = 0,4.P + 3 \times 0,15.P \Rightarrow S = 0,85.P$

La benne reste donc fermée si la tension du câble de fermeture est au moins égale à 0,15 du poids P de la benne.

3.5.3.4. Conditions de montée et descente de la benne en position ouverte

Quand la benne est entièrement ouverte, la totalité du poids est appliqué au câble de suspension. Il faut que le câble de fermeture reste mou. L'existence d'une faible tension de ce câble suffirait à provoquer la fermeture de la benne.

3.6. Les composants mécaniques de transmission

3.6.1. La fonction transmission de puissance

3.6.1.1. Généralités

Tout dispositif mécanique asservi à une fonction de transmission de puissance peut être représenté schématiquement par la figure suivante :

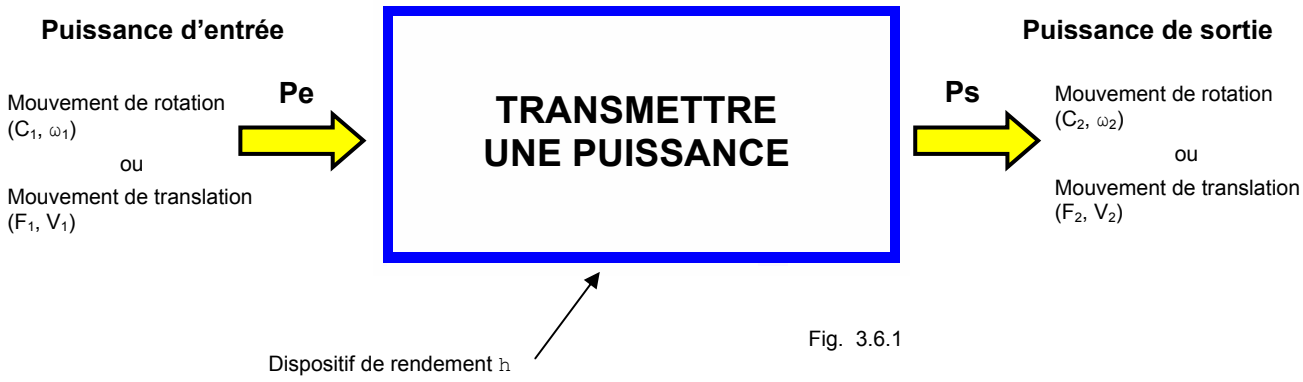

Fig. 3.6.1

Selon le mouvement de sortie désiré, et en fonction du mouvement moteur envisagé, le dispositif mécanique devra transmettre le mouvement d'entrée, ou le modifier.