

2. Rappel de quelques principes mécaniques

2.1 Approche très simplifiée de quelques principes mécaniques

C'est avec un certain agacement que la plupart des agronomes semblent considérer les mathématiques et la physique; ils sont tentés d'éviter les démonstrations qui leurs rappellent leurs premiers affrontements avec ces matières. Notre but n'est donc pas de développer des analyses détaillées de la dynamique du matériel à traction animale, avec des combinaisons impressionnantes de vecteurs, de cosinus, d'intégrales et de symboles grecs. Nous conseillons aux lecteurs intéressés par ces détails techniques de se rapporter aux ouvrages de DEVNANI (1981), VIEBIG (1982), CROSSLEY et KILGOUR (1983), GOE (1987) et MATTHEWS (1987). Néanmoins, quelques principes de base, renforcés de bon sens, constituent une approche intéressante du matériel à traction animale pour les personnes qui ne tiennent pas à affronter les théories les plus complexes de la mécanique. Le propos de ce chapitre est donc de rappeler au lecteur des principes de base déjà acquis, et de lui fournir quelques exemples de contextes d'application. Il suffit souvent d'un vague rappel des règles mathématiques apprises depuis longtemps, pour fournir une aide dans l'interprétation et la compréhension des différentes caractéristiques des attelages et des matériels. Quelques principes simples (plutôt que des règles apprises) peuvent également être utiles lorsque l'on doit évaluer les avantages et les incon-

véniants de divers projets, et la valeur d'éventuels modifications ou réglages.

Outre la connaissance de quelques principes de base en mécanique, il est aussi utile de connaître les principales unités de mesure se rapportant au matériel. L'emploi quotidien de telles unités n'est pas essentiel, car des essais comparatifs sont plus utiles, dans la majorité des situations sur le terrain, que des valeurs absolues: les agriculteurs sont plus intéressés de savoir si un type d'attelage particulier, c'est-à-dire animaux plus matériels, peut effectuer un travail correct dans un délai raisonnable, plutôt que par des mesures de poids, de forces ou de puissance. Il est cependant intéressant d'utiliser des unités de mesure normalisées, car elles facilitent les échanges d'informations entre ressortissants de pays différents; par le passé, un échange fructueux a été entravé par la grande diversité des unités utilisées pour la description du matériel à traction animale (cheval-vapeur, kilowatts, kilogramme-force, livre-force, newtons, joules, mile par heure, kilomètre par heure, mètre par seconde; mètre carré par heure, heure par hectare, acre par jour, etc. ...). Chaque fois que cela a été possible, ce sont les unités reconnues internationalement qui ont été utilisées dans ce livre. De telles unités sont le plus souvent des mesures de grandeur pratiques, et elles ne contiennent pas d'informations sur la valeur dans l'absolu ou l'exactitude des chiffres. Bien que des mesures obtenues

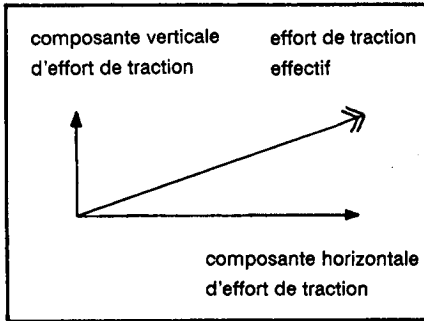
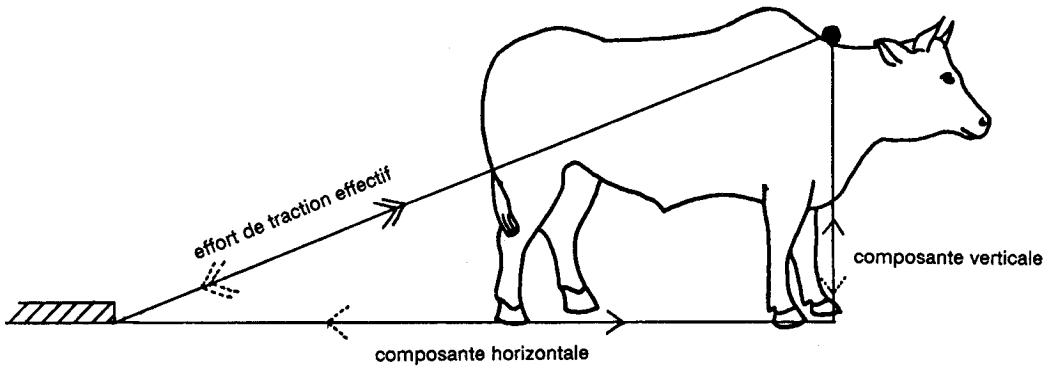
sous des normes reconnues et des conditions expérimentales renouvelables puissent être largement appliquées, peu de mesures normalisées se rapportent à la traction animale, excepté le poids de l'animal et du matériel et les mesures physiques. Lorsque des animaux tirent une charrue, que ce soit en conditions réelles ou en station, on rencontre tellement de variables extrêmement spécifiques influençant cette situation, que les schémas théoriques n'ont plus beaucoup de rapport avec les conditions dans lesquelles ils ont été conçus. Donc, même si l'emploi d'unités internationales doit être encouragé, ces unités ne doivent pas être confondues avec des normes internationales, et on doit prendre de grandes précautions lors de l'interprétation de données obtenues dans des conditions différentes. De même, à cause de l'extrême variabilité des conditions locales, il est généralement imprudent d'attribuer des valeurs «classiques» à des expérimentations agricoles. Néanmoins, pour familiariser le lecteur avec les unités employées dans les chapitres suivants, quelques ordres de grandeur concernant les forces, le travail et la puissance seront donnés, uniquement à titre d'exemples.

2.2 Les forces et les vecteurs

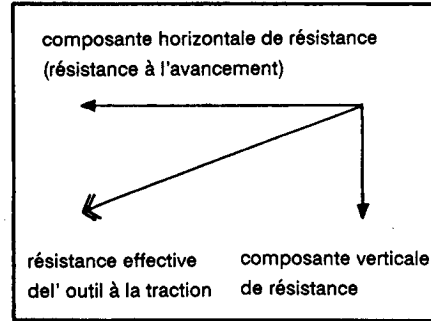
Les premiers principes de mécanique qui méritent d'être rappelés concernent les forces. (On peut même rappeler la première loi de Newton qui énonce qu'un corps ne reste au repos ou ne se déplace suivant une droite que s'il est soumis à l'action d'une force. La seconde loi décrit les changements dans la vitesse et la direction d'un mouvement comme la résultante de forces, alors que la troisième loi précise que les forces et leurs forces de réaction sont d'égale amplitude et de directions opposées).

L'unité standard de force est le Newton (symbole N). La définition d'un Newton découle de la force résultant de l'accélération appliquée à une masse d'un kilogramme. Comme l'accélération due à la gravitation terrestre est d'environ 9,8 mètres par seconde, le poids d'une masse d'un kilogramme (sur la plus grande partie de la surface terrestre) est d'environ 9,8 newtons, c'est-à-dire qu'une masse d'un kilogramme pèse environ 10 newtons. Donc, malgré les critiques de quelques puristes, un Newton peut être simplement considéré comme une unité de force équivalent à un poids de 100 grammes; 10 N équivalent donc à un kilogramme (ou 2,2 livres). Les unités Newton sont utilisées dans le présent ouvrage, car elles sont acceptées comme Unités Internationales, et on les retrouve dans d'autres publications. Les textes anciens expriment souvent les forces en kilogramme-force (1 Kg f = 10 N) ou livre-force (1 livre-force = 4,5 N). Plusieurs auteurs ont utilisé les decanewtons (daN) qui correspondent à peu près aux kilogrammes et d'autres ont employé les kilonewtons (kN), équivalents à 100 kg force. Quoi qu'il en soit, il suffit de rappeler que si l'on divise une grandeur exprimée en Newton par 10, on obtient son équivalent en kilogrammes. Ainsi, un matériel agricole léger (un petit semoir par exemple) nécessite un effort de traction d'environ 200 N; une petite charrue à un seul versoir en sol léger nécessite un effort de traction de 500 N alors qu'une charrue bisoc en sol lourd peut demander un effort de 2000 N.

En termes scientifiques, le «poids» est en fait une force, car il dépend de l'accélération de la gravité. Un corps peut sembler «plus léger» dans l'espace, même si sa «masse» n'a pas changé. Les unités standard



Efforts de traction



Résistance

Fig.2-1: Représentation graphique des composantes verticales et horizontales des efforts de traction.

pour les mesures de masse sont le gramme et le kilogramme, alors que, comme nous l'avons précisé, l'unité de force est le Newton. Une balance à ressort, même étalonnée en kilogrammes, mesure en fait des poids et non des masses, et donnera des indications légèrement différentes suivant l'altitude. Les puristes étalonneraient les balances à ressort en Newtons, qu'elles soient utilisées comme instrument de pesage ou comme dynamomètres pour mesurer les intensités d'effort. Cependant, pour les personnes s'intéressant principalement au travail du sol, la gravité peut être considérée comme pratiquement constante, et la confusion entre «masse» et «poids» n'est probablement pas une source d'erreurs. C'est pourquoi nous utiliserons le terme «poids» dans le sens an-

cien et usuel, et donnerons les mesures en kilogrammes, plutôt qu'en Newtons.

Les forces sont décrites par leur direction et leur amplitude, et le concept de vecteurs est très utile pour leur étude. Les forces peuvent se décomposer en trois axes orthogonaux deux à deux, mais elles peuvent être aussi considérées, d'une manière plus simple et plus pratique, comme agissant dans un seul plan. Dans ce cas, une force «diagonale» (comme la traction sur une chaîne) peut être décomposée sur un axe vertical et horizontal (Fig. 2-1). Une telle traction présente une composante vers le haut et une autre vers l'avant. Si la traction présentait un angle de 45, ses composantes horizontales et verticales seraient égales, comme si la force de

traction était utilisée partie en «levage» partie en «traction». Si l'on pouvait changer cet angle de 45 en une position quasiment parallèle au sol, la même force aurait un effet de déplacement vers l'avant beaucoup plus important. L'un des moyens d'obtenir une force horizontale plus efficace serait d'utiliser une longue chaîne de traction, un autre serait d'abaisser le point d'attache où s'applique la traction. En termes de traction horizontale, des bœufs à courtes pattes attelés avec des jougs à point d'attache bas et munis d'une très longue chaîne de traction seraient plus efficaces qu'un chameau, haut sur pattes, muni d'un harnais avec une chaîne courte. Cet exemple exagéré illustre deux points: premièrement, que les ingénieurs agricoles n'ont pas besoin d'être spécialisés en mécanique pour considérer de manière simple et efficace les forces mises en jeu dans l'utilisation des attelages et du matériel, et que de telles considérations peuvent apporter des idées pour améliorer les réglages en conditions réelles ou les conceptions de matériels; deuxièmement, ce qui peut sembler théoriquement optimum en termes d'efficacité peut ne pas convenir en termes de faisabilité ou de disponibilité en animal. Des chaînes trop longues rendent les virages très difficiles, et des animaux de petite taille à courtes pattes peuvent ne pas offrir une puissance, une vitesse ou une endurance suffisantes. D'un point de vue pratique, au niveau d'une conception de matériel, les considérations telles que la commodité, le coût, la disponibilité et même l'apparence extérieure peuvent l'emporter sur les sophistications techniques.

La Fig.2-2. montre un diagramme très simplifié des principales forces qui interviennent sur une charrue. Quelques lecteurs peuvent avoir déjà vu des diagrammes sembla-

bles comportant des flèches orientées dans des directions différentes. Cela peut s'expliquer par référence à la troisième loi de Newton, car toutes les forces citées auront des forces opposées (l'effort de traction des animaux s'oppose à la force de résistance du matériel; la force vers le bas du joug due à la gravité et la composante verticale de la traction s'opposent au corps de l'animal lorsqu'il est debout et qu'il exerce une traction). La Fig.2-2 n'est pas vraiment un diagramme vectoriel, car elle montre uniquement les directions des différentes forces, mais pas leurs intensités. Dans un diagramme vectoriel mathématique, ou triangle de forces, les longueurs des côtés sont directement proportionnelles aux intensités des forces. En pratique, on n'utilise des vecteurs que dans les schémas décrivant les attelages et les charrues, car les forces réelles sont d'intensité très variable. Si l'on devait faire un diagramme exhaustif décrivant toutes les forces (actions et réactions) mises en jeu lors d'un travail au champ, on se retrouverait devant un enchevêtrement de vecteurs avant même de se hasarder dans une troisième dimension. Heureusement, pour nombre de problèmes pratiques, les différentes forces peuvent être analysées séparément, et cette approche simpliste peut être particulièrement utile lorsque l'on affine «mises» au point et réglages.

Même si nous avons insisté ici sur les forces appliquées sur les charrues, des forces similaires agissent sur les autres matériels à traction animale. Pour les matériels de travail du sol, la résistance du sol à leur avancement est généralement le point le plus important. Dans le cas de matériels à roues ou à engrenages, la friction interne oppose une résistance à la rotation des roues, des roulements ou des engrenages, qui peut être au moins

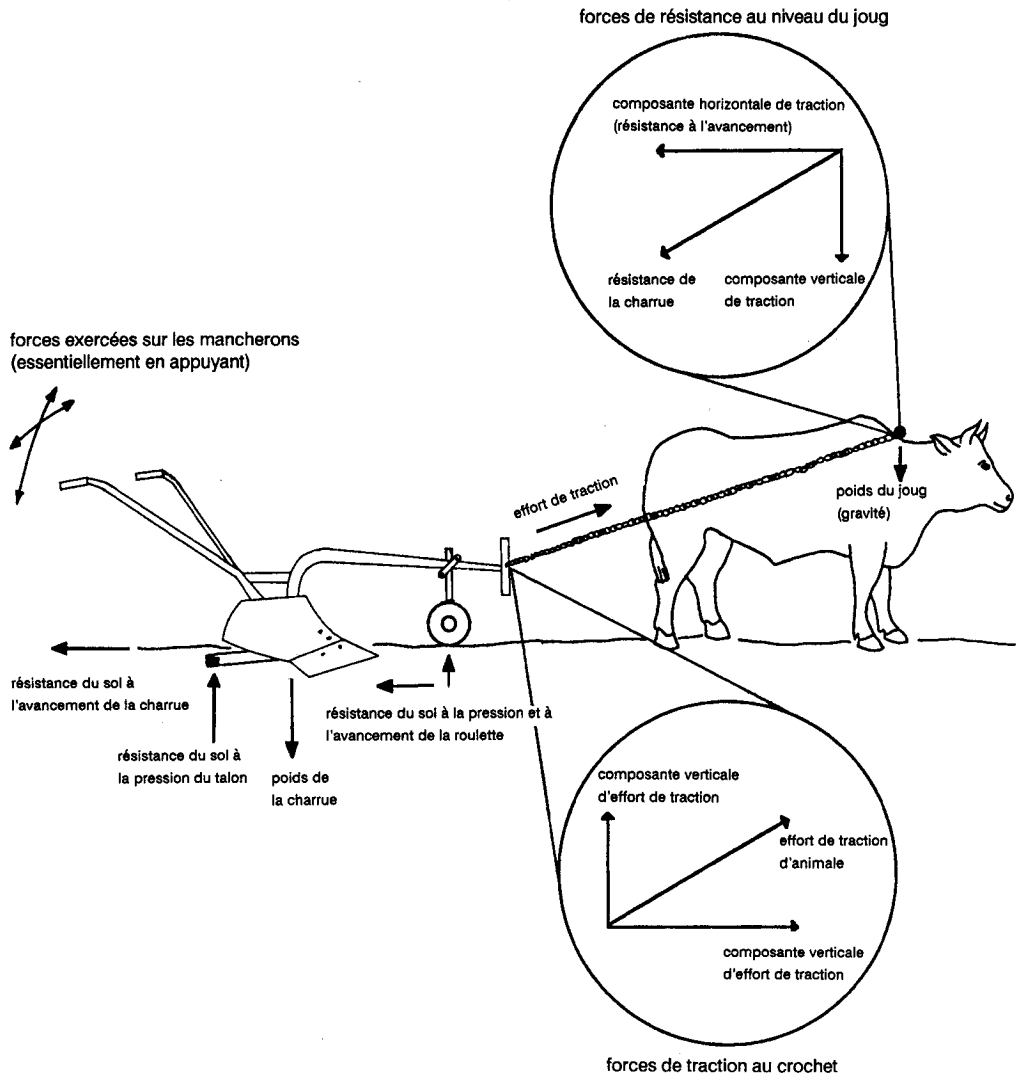


Fig.2-2: Représentation graphique de certaines forces auxquelles est soumise une charrue.

aussi importante que les forces de traction intervenant entre le matériel et l'environnement.

2.3 Le travail et la puissance

La notion de travail implique le déplacement d'une force sur une certaine distance.

Lorsqu'un matériel est tiré dans le sol, l'animal, seul ou en paire, exerce une force de traction. Lorsque l'attelage avance dans le champ, il produit donc un travail. Ce travail n'est pas une fonction du temps: la quantité de travail effectuée est donc la même quelle que soit la durée de l'opération. Le labour d'un champ, réalisé suivant un protocole donné et à une profondeur donnée, met en

Tableau récapitulatif des unités citées dans cet ouvrage et de leurs équivalents

Quantité	Unités	Symbole	Equivalences
Masse	kilogramme	kg	1 kg = 2,2 lb; 1lb = 0,45 kg
	gramme	g	1000 g = 1 kg
	tonne	t	1 t = 1000 kg = 1 imp ton
Longueur	kilomètre	km	1 km = 0,62 miles ; 1 mile = 1,61 km
	mètre	m	1 m = 100 cm = 1000 mm = 1,09 yard = 3,28 ft
	centimètre	cm	1 cm = 0,394 inch ; 1 inch = 2,54 cm
	millimètre	mm	1 mm = 0,04 inch
Temps	seconde, heure, jour	s, h, j	1 h = 60 mn = 3600 s
Surface	mètre carré	m ²	1 m ² = 1,2 sq yd ; 1 sq yd = 0,84 m ²
	hectare	ha	1 ha = 10,000 m ² = 2,47 acre ; 1 acre = 0,405 ha
Volume	mètre cube	m ³	1 m ³ = 1000 litres = 220 gallons = 35.3 cu.ft
	litre	l	1 l = 0,22 imp gallons
Vitesse	mètre/sec	m/s ms ⁻¹	1 m/s = 1 ms ⁻¹ = 3,6 kmh ⁻¹ 2,24 mph = 3,28 ft s ⁻¹
	kilomètre par heure	km/h km/ h ⁻¹	1 km/h = 1 kmh ⁻¹ = 0,278 m s ⁻¹ = 0,62 mph; 1 mph = 1,6 km h ⁻¹
Force	newton	N	1 N = 0,102 kg force (kgf) = 0,225 lb force (lbf)
	décaneutron	daN	1 daN = 10 N = 1 kgf = 2,25 lbf
	kiloneutron	kN	1 kN = 1000 N = 100 kgf = 225 lbf = 0,10 tonf
Travail ou Energie	joule	J	1 J = 1 newton mètre (Nm)
	kilojoule	kJ	1 kJ = 1000 J = 737 ft.lb
	mégajoule	MJ	1 MJ = 1000 kJ = 1,000,000 J
Puissance	watt	W	1 W = 1 joule / sec. = 1 Nm s ⁻¹
	kilowatt	kW	1 kW = 1000 W = 1,34 hp = 1,32 cv ; 1 hp = 0,75 kw

jeu la même quantité de travail (en principe), qu'il soit réalisé en une matinée, une journée ou plusieurs jours, par un seul animal, une paire, ou un grand attelage, que les animaux tirent une charrue étroite sur une longue distance ou une charrue large sur une distance plus courte (en fait, quelques légères différences peuvent exister, car certaines forces de frottement varient avec la

vitesse et le rapport surface/volume). Bien que le travail, effectivement réalisé en terme de labour, soit le même dans tous les cas précédemment cités, le nombre d'animaux et l'intensité du travail peuvent intervenir significativement dans la dépense totale d'énergie. (Les animaux utilisent constamment de l'énergie métabolique pour leur maintenance d'une manière comparable à

l'allumage continu d'un moteur de voiture, donc un travail lent ou un travail impliquant plus d'un animal peut conduire à une dépense d'énergie métabolique plus importante; les animaux effectuent aussi un travail en se déplaçant eux mêmes, donc plus la distance qu'ils parcourent est courte, moins ils effectuent de travail dû à leur propre déplacement; dans de tels cas, la traction d'un matériel large sur une courte distance dépensera moins d'énergie que la traction d'un matériel plus étroit sur une longue distance).

Les unités de mesure employées pour le travail sont les joules (J), les kilojoules (kJ), ou les mégajoules (MJ). Un joule représente le travail nécessaire au déplacement d'une force d'un Newton sur un mètre. Puisque 1 kg équivaut à environ 10 Newtons, le levage d'un kilogramme sur un mètre correspond à un travail d'environ un kilojoule. De même la traction d'une force de 1000 N sur 1000 m (1 km) équivaut à un travail d'environ 1 mégajoule. Par exemple, lors d'un programme de travail relativement peu pénible, une paire de bœufs de 250 kg peut effectuer dans une journée un travail de 2,5 MJ en appliquant une traction de 500 N sur une distance de 5 000 m; lors d'un programme plus rigoureux, une paire de bœufs de 350 kg peut effectuer un travail de 12 MJ dans une journée, en appliquant une traction de 800 N sur une distance de 15 000 m. L'ensemencement d'un hectare de terrain à l'aide d'un matériel léger (200 N) avec un espacement de 60 cm (impliquant un déplacement de 17 000 m) représente un travail de 3,3 MJ. De même, le labour d'un hectare de terrain avec une charrue à soc de 15 cm en sol léger nécessite un travail de 33 MJ (une force de 500 N sur 66 000 m, qui est la distance que doit parcourir un matériel de

15 cm pour couvrir un hectare). En théorie le labour avec une charrue à versoir ajustée à la même profondeur devrait nécessiter la même quantité de travail, car la force de traction serait doublée ($2 \times 500 \text{ N}$), mais la distance parcourue serait divisée par deux (33 000 m). Le labour d'un hectare, sur un sol identique mais à une profondeur légèrement plus importante, avec un soc de 25 cm (simple ou double) nécessiterait 40 J (correspondant à une force de 1000 N sur 40 000 m ou une force de 2 000 N sur 20 000 m).

La puissance représente la valeur du travail par unité de temps. Historiquement la puissance a été décrite en se référant aux capacités d'un animal de trait, et mesurée en unités appelées cheval-vapeur (en anglais: *horsepower*, hp), ces unités sont toujours utilisées aujourd'hui dans certains pays. Le *cheval-vapeur* «historique» a été défini par James WATT, qui a chronométré comparativement un cheval et sa nouvelle machine à vapeur alors qu'ils tiraient des charges fixées sur un essieu; il conclut qu'un cheval pouvait fournir une puissance équivalente au levage d'un poids de 550 livres sur un pied durant une seconde. Le cheval-vapeur standard (cv) est légèrement plus faible, car il équivaut au levage de 75 kg sur un mètre en 1 seconde (1 cv = 0,986 hp). On notera d'ailleurs que malgré le sens commun accordé au mot «cheval-vapeur», les chevaux peuvent, en Afrique, assurer un travail soutenu à une intensité de plus de 0,6 hp, bien que lors de périodes brèves de travail intense, ils puissent fournir des puissances allant jusqu'à 6-7 hp).

Les unités en cheval-vapeur ont été remplacées par les unités internationales de puissance, le watt et son multiple, le kilowatt. Le watt est une unité de puissance qui équi-

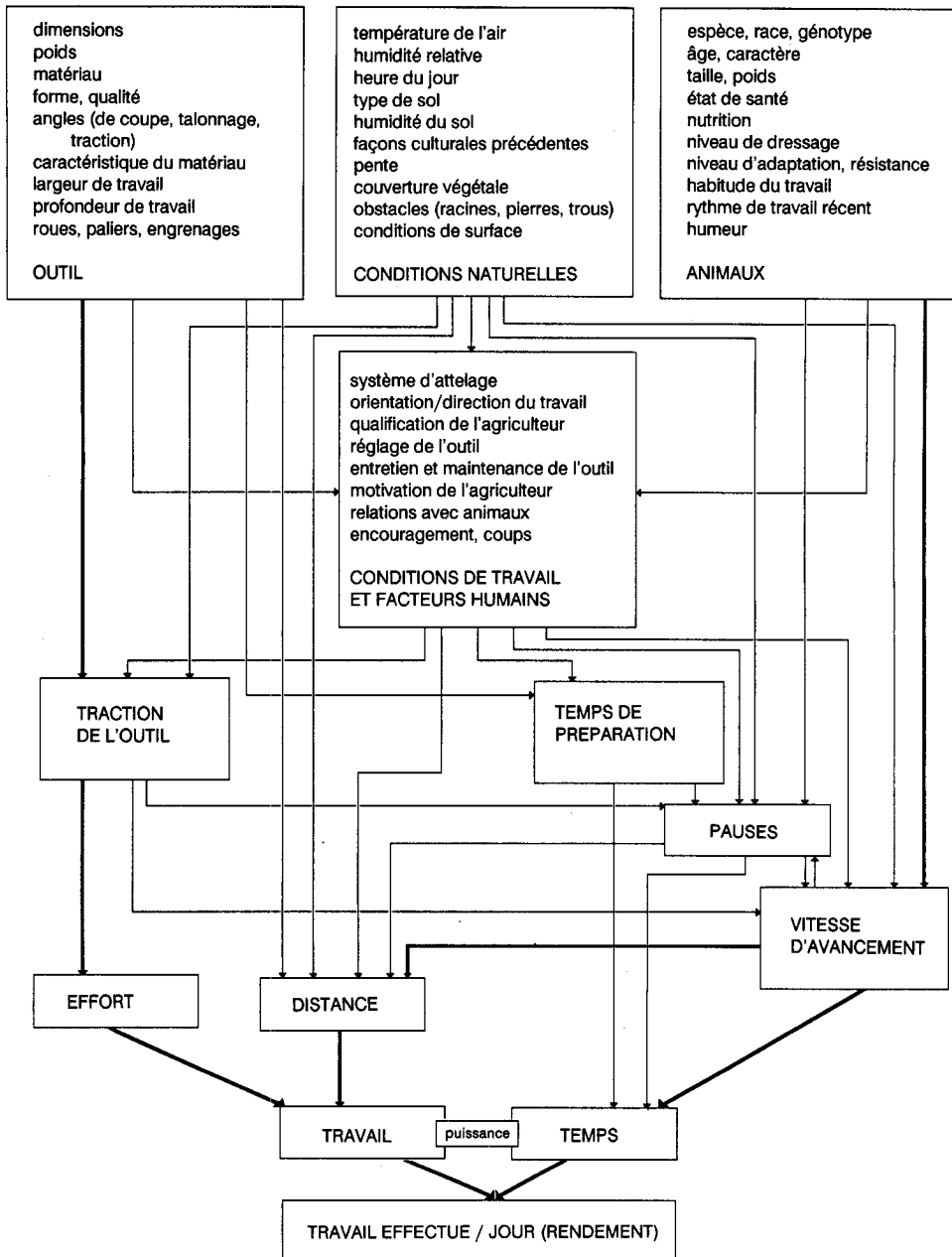


Fig.2-3: Diagramme des différents facteurs intervenant dans le rendement des animaux de travail.

A gauche: caractéristiques du labour et du matériel déterminant la résistance de ce dernier à la traction dans les conditions prédominantes, et donc l'effort que doivent développer les animaux pour le tracter.

A droite: les caractéristiques des animaux et du matériel, déterminent la vitesse d'avancement, et donc la puissance développée et la productivité en fonction de la distance parcourue par jour.

Au centre: la traction du matériel, l'allure et le temps hors travail sont fortement influencés par les facteurs humains et les conditions agro-climatiques de travail dont certaines seulement sont indiquées ici.

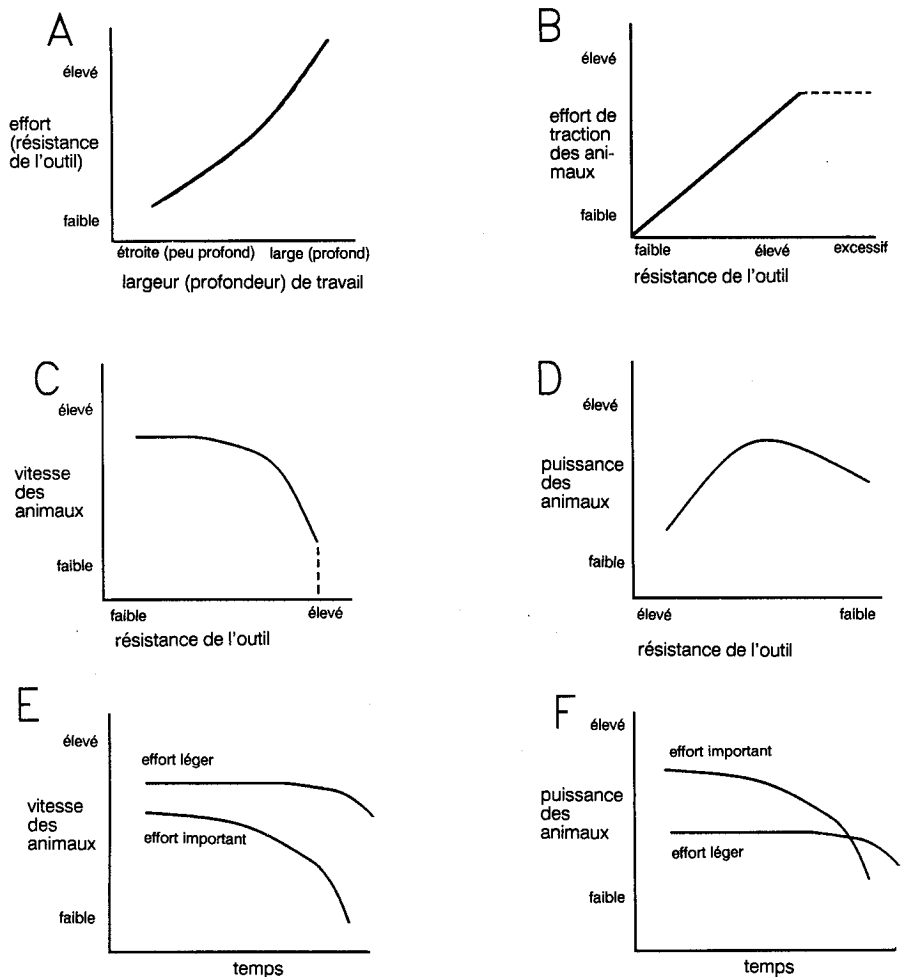


Fig. 2-4a: Représentation graphique très simplifiée de certaines relations entre effort, vitesse, puissance et temps.

A: La résistance d'un outil augmente proportionnellement à la largeur (ou la profondeur) de travail.

B: Lorsque la résistance de l'outil augmente, les animaux doivent augmenter d'autant leur effort de traction pour tracter le matériel en maintenant une vitesse régulière. Lorsque la résistance est supérieure à la force de traction maximum des animaux, ces derniers peuvent soumettre l'outil à la traction sans pour autant pouvoir le déplacer.

C: Lorsque la résistance de l'outil dépasse un certain point, les animaux ralentissent et vont même jusqu'à s'arrêter.

D: Lorsque la résistance d'un outil s'accroît, la puissance (effort x vitesse) développée par les animaux augmente jusqu'à un point où l'augmentation d'effort est compensée par le ralentissement.

E: Lorsque la charge est faible, les animaux adoptent une vitesse d'avancement normale pendant quelque temps, mais peuvent éventuellement ralentir. Lorsque la charge est importante, les animaux vont plus lentement, dès le départ, et ralentissent considérablement sur la distance parcourue.

F: Avec une faible charge, les animaux développent une faible puissance pendant un certain temps; mais sous une charge importante, la puissance diminue rapidement car ils se fatiguent et ralentissent. L'étude croisée de ces schémas permet d'observer que la puissance développée par les animaux peut être supérieure pour tirer rapidement une faible charge, que pour tracter lentement une charge importante.

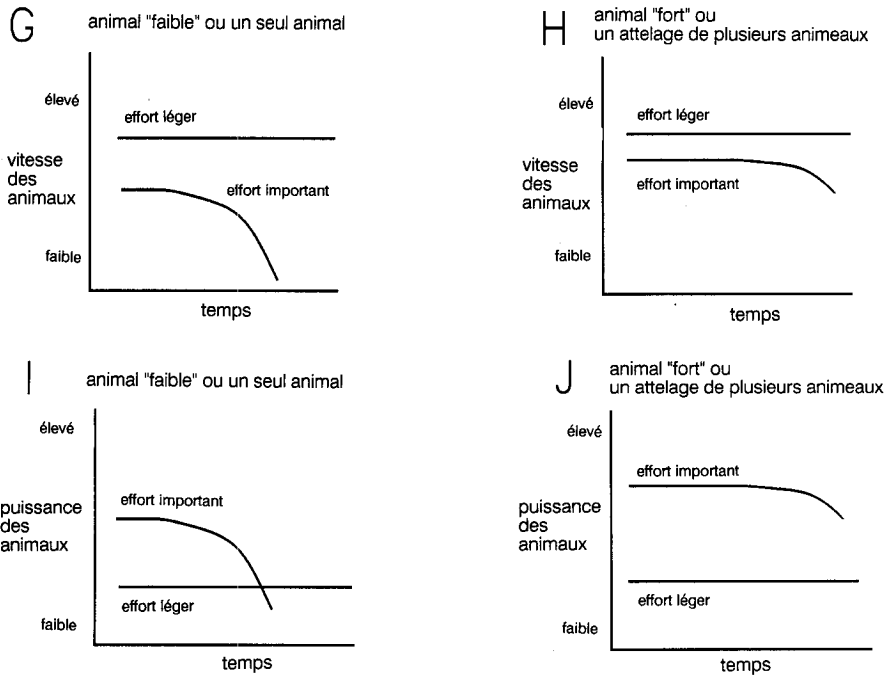


Fig. 2-4b: Représentation graphique très simplifiée de quelques relations entre effort, vitesse, puissance et temps montrant certaines différences entre des animaux «faibles» ou «forts», ou entre un seul animal et un attelage de plusieurs animaux.

G: Lorsque l'effort de traction est peu élevé, un animal seul, ou «faible», est capable d'avancer rapidement et de maintenir sa vitesse, alors qu'avec un effort de traction plus important, il démarre plus difficilement et ralentit son allure rapidement de façon significative.

H: Lorsque l'effort de traction est faible, un animal «fort», ou un attelage, maintient son allure de façon durable (de la même manière que l'animal seul ou «faible»). Lorsque l'effort de traction est plus important, l'animal «fort», ou l'attelage, démarrent plus lentement que lorsque l'effort de traction est moins élevé, maintient cette vitesse un certain temps puis ralentit. Quoiqu'il en soit un animal fort ou un attelage, avancent toujours plus vite qu'un animal «faible» ou seul, lorsque l'effort de traction est élevé.

I: L'animal «faible», ou seul, maintient sa puissance avec une charge peu importante et, dans la mesure où la vitesse et l'effort de traction sont les mêmes que pour l'animal «fort», ou l'attelage, cette puissance est la même que celle développée par l'animal «fort», ou l'attelage (cf. graphique J). Avec la charge plus importante, l'animal fournit initialement une puissance beaucoup plus élevée que dans le cas d'un faible effort de traction, mais cette puissance décroît rapidement, au fur et à mesure que l'animal se fatigue et ralentit.

J: Que l'animal soit «fort» ou qu'il s'agisse d'un attelage, la puissance développée ne peut être supérieure à celle d'un animal «faible», ou seul, pour le même effort de traction requis à la même vitesse (cf. graphique I). Néanmoins, lorsqu'il s'agit d'un effort de traction élevé, l'animal «fort», ou l'attelage, peut développer une puissance soutenue, jusqu'au moment où il se fatigue et ralentit.

Note importante: ces graphiques ne sont présentés ici que dans le seul but d'illustrer certains points généraux énoncés dans les légendes et étudiés dans le texte. Leur forme n'est pas significative et ils ne doivent en aucun cas être interprétés comme représentant des relations exactes entre les différents paramètres pris en compte.

(Sources: VAUGH, 1945; HUSSAIN et al. 1980; AYRE, 1981; VARSHNEY et al., 1982; CROSSLEY et KILGOUR, 1983; LAWRENCE et PEARSON, 1985; KEBEDE et PATHAK, 1987; BETKER et KLAJ, 1988; BANSAL et al. 1989; LAWRENCE, 1989, PEARSON et al., 1989)

vaut à un travail de un joule durant une seconde. Si l'on tire un newton sur une distance d'un mètre en une seconde, on a besoin d'une puissance de 1 watt (W). De même si l'on tire un kilogramme (10 N) sur une distance d'un mètre (10 joules de travail) en une seconde, il faut une puissance de 10 watts. Un kilowatt (kW) équivaut à 1000 W et $1 \text{ kW} = 1,34 \text{ hp} = 1,32 \text{ cv}$. Pour illustrer ces calculs, prenons l'exemple d'une paire de bœufs travaillant rapidement sur 1 mètre par seconde (1 ms^{-1} ou 1 m/s) et tractant une charge (poids) de 1000 N; elle assure une puissance globale de 1000 W ou 1 kW. Un âne seul tractant un semoir avec une force de 200 N à une moyenne de 1 ms^{-1} , fournit une puissance de 200 W.

Pour une force ou un travail donné, c'est la vitesse qui détermine la puissance. Pour tirer un matériel qui montre une résistance de 800 N, à une vitesse de $0,8 \text{ ms}^{-1}$, il faut une puissance de 640 W, alors que pour tirer le même matériel à $0,3 \text{ ms}^{-1}$, 240 W suffisent. Les animaux, par conséquent, essayent d'ajuster leur vitesse à l'intensité de la traction et ce ralentissement se remarque surtout avec les bovins.

Il faut remarquer que bien que la plupart des termes tels que poids, force, travail et puissance aient été définis scientifiquement, ils sont aussi utilisés dans un sens plus large et moins précis par les agronomes et les agriculteurs. La subjectivité et le contexte peuvent donner à ces mots des définitions diverses. Par exemple, les bœufs sont souvent considérés comme étant plus puissants que les chevaux. Généralement ce que l'on entend par là, c'est que le bœuf peut assurer une lourde charge pendant plus longtemps que le cheval. Cependant, grâce à leur plus grande vitesse, les chevaux peuvent généra-

lement développer une «puissance» réelle supérieure à celle des bœufs. Dans chaque cas, un grand nombre de paramètres différents et corrélés se rapportant aux animaux, au matériel, à l'attelage, à l'environnement et aux opérateurs, déterminera la quantité de travail qui peut être produite. Un bon nombre d'entre eux sont illustrés sur la Fig. 2-3, et d'autres sont étudiés dans le chapitre 10. Cependant, il peut être très utile de rappeler brièvement les points suivants. L'outil (sa taille, son poids, sa largeur, sa profondeur, etc. ...) et l'environnement (état du sol, présence d'obstacles, etc. ...) déterminent à eux deux la force de traction. Ces paramètres, peuvent être modifiés par l'opérateur (des réglages de profondeur et de la largeur de travail, la manière d'utiliser le matériel, etc. ...). Puisque la force de traction est déterminée par le matériel et l'environnement, elle sera globalement la même, qu'elle soit exercée par un animal ou plusieurs, lentement ou à grande vitesse. La vitesse à laquelle est tiré le matériel dépend de l'animal (ou des animaux). La vitesse (et par conséquent la puissance) dépendra de la résistance du matériel, de la puissance et de la vitalité de l'animal, des conditions environnantes et du savoir-faire de l'opérateur. Lorsqu'ils sont fatigués, ou qu'on leur demande un travail intense, les animaux ralentissent leur allure et se reposent plus souvent. Ils réduisent donc ainsi le travail effectué sur une période donnée. Quelques exemples de ce type de relations sont donnés sur la Fig. 2-4.

Les harnais relient les animaux aux matériels; bien qu'ils ne diminuent pas l'effort de traction à fournir, ils peuvent influencer sa répartition suivant un axe vertical ou horizontal. Les harnais ne sont pas tous d'une efficacité égale en tant que systèmes de

transmission; des quantités plus ou moins importantes d'énergie sont donc consommées à l'intérieur du système d'attelage ou gaspillées en travail improductif. Les harnais ne modifient pas la puissance intrinsèque de l'animal, qui dépend en grande partie de l'espèce, de la taille, du poids et du passé récent de l'animal. Cependant, si l'on prend en compte les aspects ergonomiques, notamment ceux relatifs au confort, les harnais peuvent influencer la capacité ou la volonté de l'animal à utiliser cette puissance. Ce point sera étudié au chapitre 5.

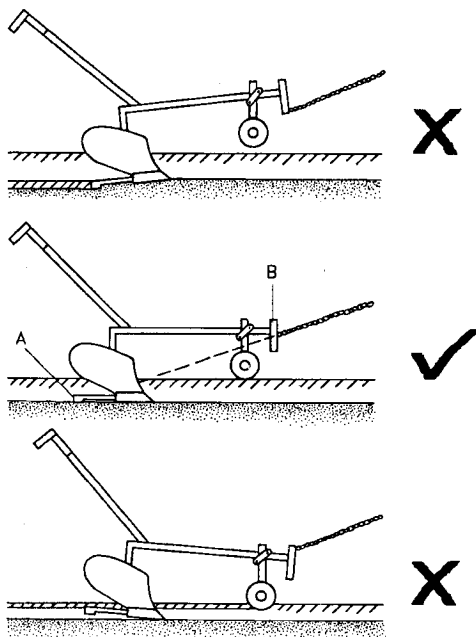
2.4 Le principe des bras de levier

Le réglage et la conception du matériel peuvent généralement s'expliquer en appliquant le principes des bras leviers. Les balances utilisées dans l'attelage de plusieurs animaux se comportent comme des bras leviers simples, de même que les jougs. Chaque fois que la position d'attache de l'attelage s'éloigne d'une position centrale, des bras de leviers de longueur inégale apparaissent. L'animal le plus faible a besoin d'un bras de levier plus long pour le soulager, alors que le plus fort peut travailler avec un bras de levier plus court. Le fait d'appuyer sur les mancherons d'une charrue peut être considéré comme une action de levier. L'arrière du corps de la charrue agit comme un pivot permettant à une pression vers le bas sur les mancherons de faire remonter le bâti vers le haut, de façon à diminuer la profondeur. (Ce mouvement est effectué spontanément au cours du labour: cela est plus évident lorsque le labour est effectué à une vitesse moyenne dans des sols légers; dans des sols plus lourds et à faible vitesse, la charrue est rarement assez stable pour permettre à l'opérateur de faire la différence entre les divers effets de levier qu'il subit).

Le réglage de largeur et de talonnage de la charrue peuvent aussi s'expliquer en termes de levier. Le déplacement horizontal de la chaîne de traction, à partir de son point central, vers la droite ou vers la gauche, entraînera un léger pivotement autour du centre de la résistance et un avancement légèrement en crabe de la charrue comme le montre la Fig. 2-6 (exagéré). Si l'on déplace la chaîne de traction sur le régulateur horizon-

Fig. 2-5: Réglage du talonnage d'une charrue.

En haut: Talonnage exagéré: La roue se soulève, le talon s'appuie trop fortement sur le fond de raie, parce que le point d'attache de la chaîne est trop bas sur le régulateur (une chaîne trop courte peut produire le même effet); le point d'attache doit être remonté. **Au milieu:** Talonnage correct. A. Talon; B. Régulateur vertical. **En bas:** Talonnage insuffisant: La roue est trop appuyée sur le sol et le talon ne touche pas le fond de la raie parce que le point d'attache de la chaîne est trop haut sur le régulateur (une chaîne trop longue produit le même effet); le point d'attache doit être abaissé.



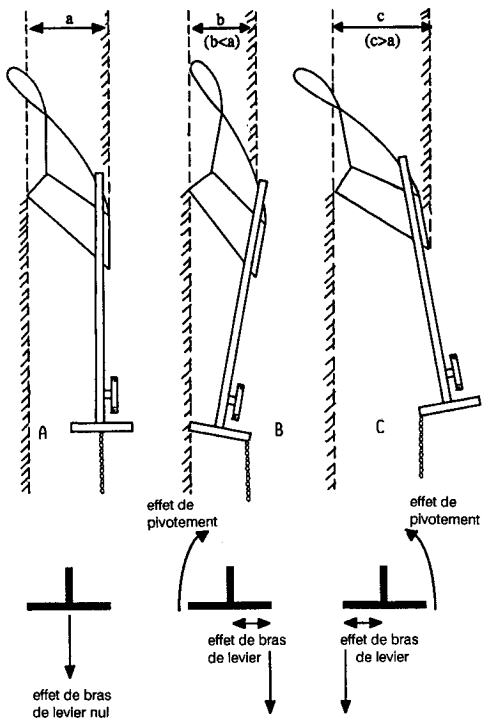


Fig. 2-6: Réglage de la largeur de travail d'une charrue.
A) La chaîne est accrochée sur le régulateur horizontal en position centrale: la largeur de la bande labourée est égale à la capacité du corps de labour (8, 9, 10 pouces).
B) La chaîne est attachée vers le guéret; l'effet de bras de levier du régulateur provoque un léger pivotement autour du point de résistance, ce qui réduit la largeur de la bande labourée.
C) La chaîne est déplacée sur le régulateur vers le labour: l'effet de bras de levier du régulateur provoque un léger pivotement autour du point de résistance, le corps de charrue avance légèrement «en crabe» ce qui augmente la largeur de la bande labourée.
 (Source: STARKEY, 1981)

tal, vers le guéret (partie non labourée), le corps de la charrue se positionne en biais, mais dans la direction opposée, il entamera alors le sol sur une largeur plus faible. Si le déplacement de la chaîne de traction est dirigée vers la partie déjà labourée le soc va

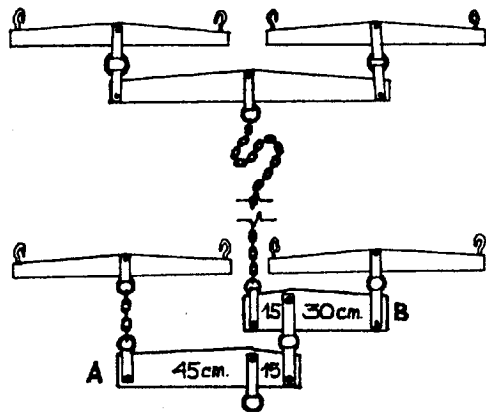


Fig. 2-7: Volées d'attelage pour quatre chevaux.
 La position des 2 palonniers de l'avant est symétrique grâce à une balance aux 2 bras de même longueur les 2 animaux étant supposé de même puissance. La balance B est dissymétrique présentant un petit bras de 15 cm pour transmettre l'effort des deux animaux de tête, et d'un bras plus grand, de 30 cm (2×15 cm) pour permettre à l'animal de l'arrière-droite de contre-balancer l'effort. La balance A est composée d'un petit bras pour les 3 animaux plus grands ($3 \times 15 = 45$ cm) pour permettre à l'animal de l'arrière-gauche d'équilibrer l'effort grâce à ce bras de levier.
 (Source: HOOLEY, 1984)

pivoter vers le côté opposé et prendre une bande plus large. Le réglage du talonnage peut être appréhendé de façon similaire, comme on peut le voir schématiquement sur la Fig. 2-5. Si l'on déplace la chaîne vers le haut, le soc va pivoter en relevant le talon tandis que le bâti va pointer vers le bas. Si l'on déplace la chaîne vers le bas le talon s'abaisse et le bâti pointe vers le haut.

En réalité, il est rare que toutes les forces agissant sur un corps soient égales et constantes; par conséquent, tout objet en mouvement (que ce soit un bateau, un avion ou une charrue) a tendance à se mouvoir suivant un ou plusieurs plans. Par commodité, on assimilera ces différents plans à trois

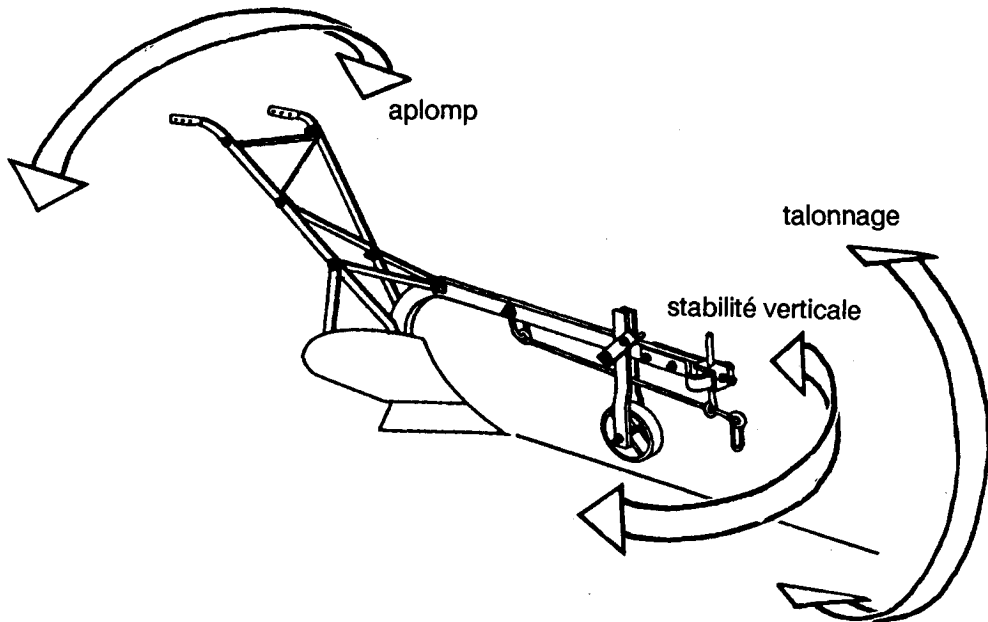


Fig. 2-8: Les conditions de stabilité d'une charrue: l'aplomb (ou stabilité horizontale), la stabilité verticale (ou latérale), la stabilité longitudinale (ou talonnage).

(Source: Dessin de la charrue Northland Rhino d'après OIT, 1983)

plans principaux se coupant chacun à angle droit. Les mouvements complexes d'une charrue au travail peuvent être systématiquement analysés par référence à ces trois plans et les phénomènes d'instabilité peuvent être décomposés en termes de stabilité longitudinale, stabilité horizontale ou aplomb et stabilité latérale, comme le montre la Fig. 2-8.

Une charrue monosoc est relativement instable et demande donc un effort considérable de la part de l'opérateur pour contrer toutes les forces tendant à déséquilibrer la charrue.

La stabilité longitudinale (lorsque l'avant monte ou descend par rapport à l'arrière, et modifie donc la profondeur du labour) peut être améliorée par l'emploi d'une roue (ou d'un patin) et d'un large contre-sep à talon. L'aplomb (basculement sur les côtés) est bien meilleur en utilisant une deuxième roue parallèle à celle qui assure le réglage en profondeur du labour. La stabilité latérale (hors d'une parallèle à la direction d'avancement) peut être améliorée si le déséquilibre des forces latérales provoquant cette avancée «en crabe» est contrôlé par un contre-sep et une roue de sillon ou un coultre.