10. Efforts de traction et rendements

10.1 La résistance des matériels

La résistance à l'avancement exercée par le matériel détermine l'intensité de l'effort force de traction que devront fournir les animaux pour effectuer un travail donné. On peut mesurer cette intensité à l'aide de divers types de dynamomètres, généralement basés sur le principe d'un ressort à extension, d'un piston hydraulique, ou d'un capteur d'effort (Fig. 10-1, 10-2, 10-3). Nous avons montré, au paragraphe 5-3, l'intérêt d'une association entre capteurs de charge modernes et ordinateurs. A l'aide d'un tel système, on peut enregistrer sur le terrain plusieurs mesures de force à la seconde, et ramener les valeurs moyennes obtenues à des distances ou des périodes précises (LAWRENCE & PEARSON, 1985).

Pour un matériel donné, la résistance à la traction dépend de nombreux facteurs liés à sa propre structure, à savoir:

- son poids total,
- sa forme générale,
- la forme des composantes, notamment le profil des pièces travaillantes,
- l'angle suivant lequel les outils attaquent le sol ou la surface de travail,
- la position et l' angle (ou les angles) d'attache de la chaîne ou de la barre de traction,
- le matériau de fabrication des matériels et de leurs composantes,

Fig. 10-1: Dynamomètre hydraulique utilisé pour mesurer les efforts de traction. (Photo: Paul STARKEY)

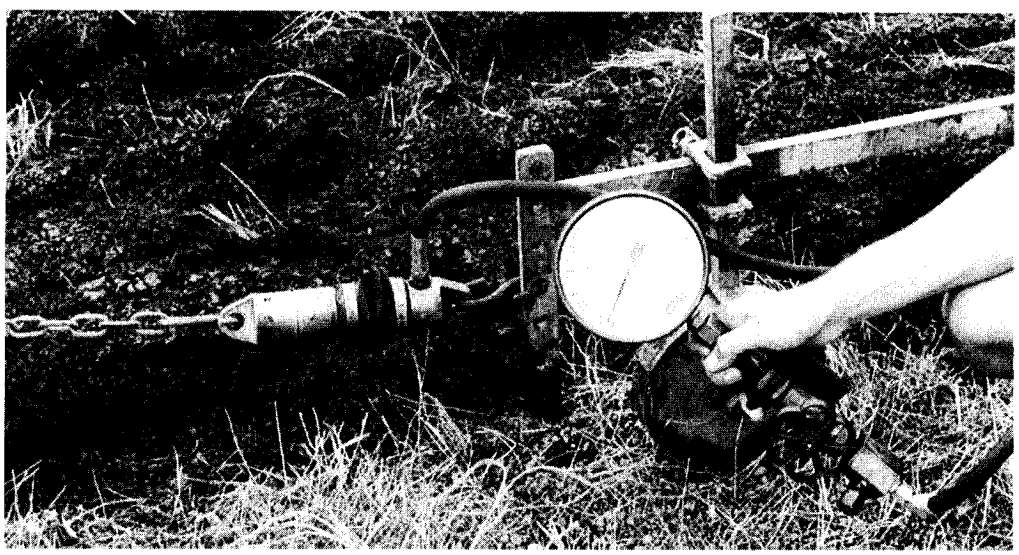


Fig. 10-2: Le dynamomètre hydraulique est utilisé ici pour mesurer les efforts de traction sur une Houe Sine dans des conditions spécifiques, en Sierra Leone. (Photo: Paul STARKEY)

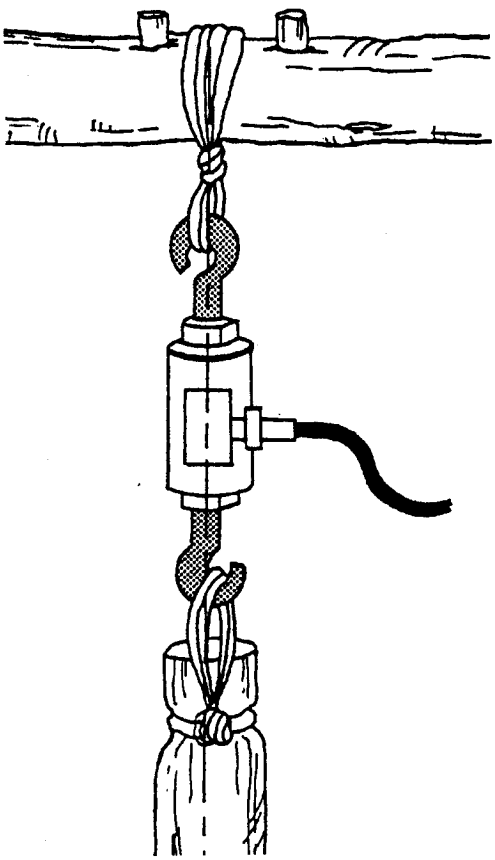
- l'adhérence des surfaces de travail,
- la largeur de travail,
- la profondeur de travail,
- le frottement des pièces tournantes ou articulées,
- l'élasticité/rigidité des différentes parties du matériel.

La plupart de ces paramètres (la largeur et profondeur de travail, par exemple) étant réglables, la résistance va dépendre de l'adéquation des réglages donc, de l'opérateur. Ce dernier peut également faire varier la largeur, la profondeur et l'angle de travail du matériel en cours d'opération, et ces réglages, obtenus par simple variation de la pression exercée sur les mancherons, peuvent être plus ou moins significatifs.

De nombreux facteurs extérieurs modifient le niveau d'effort de traction requis. Ils dépendent étroitement de l'environnement et des conditions d'utilisation. Ces facteurs sont les suivants:

- le type de sol et sa composition,
- l'humidité du sol,
- les travaux auxquels le sol a été précédemment soumis,

Fig. 10-3: Schéma d'un montage de dynamomètre montrant un capteur d'efforts (jauge de contraintes) installé entre le timon d'une maresha et un joug de garrot. (Source: GOE, 1987)



- le type et la quantité de végétaux dans le sol,
- le type et l'importance des résidus végétaux et autres,
- la présence de racines, de pierres ou de souches,
- la déclivité du terrain.

La résistance d'un matériel donné peut augmenter avec la vitesse à laquelle il est tracté, mais aux vitesses correspondant à la marche des animaux, ces variations seront peu importantes. La vitesse du matériel va elle-même dépendre de nombreux facteurs, liés au type et à la condition physique des animaux.

Au chapitre 2, nous avons présenté (Fig. 2-3) un diagramme montrant les relations étroites qui lient les différents facteurs intervenant sur la résistance à la traction. L'unité internationale, le Newton (N), est également expliquée dans ce même chapitre. Pour plus de détails techniques sur la dynamique du travail du sol, il est conseillé au lecteur de se reporter à des ouvrages tels que celui de KEPNER, BAINER et BARGER (1978), qui font néanmoins observer que le travail du sol est encore loin d'être une science exacte.

En fait, l'effort développé par les animaux pour tracter un matériel varie constamment en fonction des variations dues à l'interaction de nombreux facteurs liés aux animaux, à l'opérateur, au sol et à l'orientation du matériel. C'est ainsi que LAWRENCE et PEARSON (1985) rapportent qu'au cours d'une même expérimentation l'effort de traction a varié de 589 à 2160 N pour une même charrue, dans le même champ, au cours de la même période de deux semaines, à la fin de la saison des pluies. Or, si l'on peut observer de telles différences sur un même champ, et pour la même saison, on imagine ce qu'elles peuvent être pour des sols de types différents, et des saisons également différentes. O'NEIL et KEMP (1988) donnent des exemples de variations importantes de l'effort de traction liées aux conditions de sol et aux précédents culturaux. Lors d'essais réalisés en Inde, on a observé que les forces horizontales moyennes appliquées sur une herse à lame (bakhar) tirée par une paire de bœufs pouvaient aller de 239 N en un sol sec après labour, à 1227 N en sol humide très enherbé. Il faut tout de même préciser que cette différence d'un facteur 5 correspond à des valeurs moyennes en conditions «régulières» (la moyenne résultant elle-même de 15 valeurs moyennes, calculées à partir de 450 mesures). Les différences entre les valeurs extrêmes des mesures instantanées sont bien plus importantes. En outre, ces essais ont été réalisés dans des conditions considérées comme «normales» et représentatives; la différence mise en évidence ici, même si elle est importante, ne rend donc pas compte des valeurs extrêmes que l'on aurait pu enregistrer en Inde, avec le même matériel, mais dans des conditions différentes.

Il est, par conséquent, évident qu'annoncer que tel type de charrue à versoir présente une résistance de, par exemple, 700 N ne veut rien dire en soi: cette charrue peut être employée avec la roue de profondeur réglée juste au-dessus du niveau du soc (pour un labour superficiel) en un sol léger et humide, et la chaîne de traction attachée côté guéret; le même matériel peut également être employé avec la roue réglée pour un labour profond en sol sec de type Vertisol (sol noir des régions cotonnières), la chaîne de traction étant attachée du côté du sillon.

Dans le premier cas, un seul âne peut effectuer le travail, alors que dans le dernier, il faudrait au moins un attelage de six bœufs. Les valeurs absolues ne correspondent donc qu'à des conditions très spécifiques.

Si l'on est amené à comparer la résistance à la traction de différents matériels, les mesures doivent être effectuées sur des matériels réglés de la même façon, tirés par les mêmes animaux travaillant dans les mêmes conditions extérieures. Les efforts de traction requis par un matériel peuvent également être comparés pour différentes fonctions, dans les mêmes conditions. Dans ce cas, les variables du milieu sont *relativement* constantes. Dans la mesure du possible, les essais devront être répétés et randomisés, à la fois pour faciliter l'analyse des données, et pour réduire le risque de corréler sans le vouloir la performance d'un matériel ou d'une de ses fonctions avec une variable du milieu, animale ou humaine. Les sources de variabilité ne sont pas toutes évidentes. Par exemple, PEARSON *et al.* (1989) ont publié des graphiques montrant comment chaque opérateur pouvait influer sur la résistance d'un matériel, même dans le cadre d'une fonction n'impliquant aucun réglage; lors d'un essai particulier, réalisé au Népal sur le labour de terrasses à l'aide d'araires traditionnels, la force enregistrée a été de 704 N avec un ouvrier, et de 492 N avec un autre. Au cours de cet essai, les animaux, le sol, les conditions générales étaient les mêmes; la différence de résistance ne pou-

Tableau 10-1: Exemples extraits de documents scientifiques concernant des mesures d'effort, de vitesse et de puissance. Remarque importante: les résultats présentés ci-après ont été obtenus dans différentes conditions d'environnement, et avec des degrés divers de précision, de répétition et de rigueur scientifique. Ces données ne sont fournies qu'à titre indicatif et ne sont pas comparables entre elles sans référence aux documents originaux. Certains résultats ont été recalculés à partir des donnés fournies dans les articles originaux. (C.L.: Corps de Labour; P.: Polyculteur)

Pays	Animaux	Conditions	Matériel	Effort (N)	Vitesse (m/s)	Puissance (W)	Référence
Botswana	Bovins(4) 400-600 kg	En station; sol boueux et sableux, après premières pluies	C. L. : 30 cm C. L. : 25 cm Cultivateur 5 dents Roliculteur Scarificateur FMDU Dent CEEMAT	2318 1776 1220 852 2039 962	1,08 1,02 1,17 1,31 0,75 1,12	2498 1802 1417 1086 1533 1086	BORDET, 1987; AFRC-ENGINEERING, 1987
Burkina Faso	Paire zébus 400 kg Ouest-Afrique	En station; sols sablo-argileux secs	Prototype dent travail à sec – RR	800	0,8	640	LE THIEC et BORDET 1988
Ethiopie	Paire zébus éthiopiens 250-320 kg	Champs paysans après	Maresha Jachère longue Jachère courte	 1195 928	 0,35 0,55	 424 510	GOE, 1987
Ethiopie	 1 bovin zébus éthiopien 309 kg 302 kg Boran x zébu 372 kg 465 kg	Champs paysans Alimentation: Normale Sous-alimenté Normale Sous-alimenté	Maresha Profondeur de travail: 13,9 cm 13,9 cm 14,6 cm 14,6 cm	 590 600 660 710	 0,5 0,5 0,5 0,5	 300 310 330 360	ASTATKE, REED et BUTTERWORTH 1986
Ethiopie	Paire zébus éthiopiens 400 kg	En station	Charrette	422 775 1060 1373	0,6 0,5 0,4 0,3	220 380 400 360	KEBEDE et PATHAK 1987

Pays	Animaux	Conditions	Matériel	Effort (N)	Vitesse (m/s)	Puissance (W)	Référence
Maroc	Cheval 270 kg	En station vertisols	C.L.: 20 cm	795	1,23	978	
	Mulet 460 kg	et pluies hivernales		923	1,06	978	
	Chameau 420 kg			569	1,04	591	
	Cheval 270 kg attelé		C.L.: 20 cm	790	0,9	711	BANSAL,
	avec âne 175 kg		araire marocaine	636	1,16	738	EL GHARRAS et
			C.L.: 22 cm	729	1,13	824	HAMILTON, 1987
	Chameau 420 kg attelé		C.L.: 20 cm	795	1,04	827	
	avec âne 175 kg		araire marocaine	550	0,92	506	
			C.L.: 22 cm	657	0,92	604	
Niger	Ane 140 kg	En station;	Traineau	220	1,1	240	
		Approxim,	Syst.freinage	400	1,0	400	
	Cheval 300 kg		Traineau	700	1,3	910	BETKER et KLAIJ 1988
			Syst. freinage	3700	1,5	5600	
Costa Rica	Paire bovins	En station;	charrue sur P.	1131	0,59	670	
	Rojo Criollo 475 kg	sol lourd et					
		relativement sec;	faucheuse P.	634	0,59	368	LAWRENCE, 1989
			plateau-charrette P.	214	1,0	211	
Chine	1 bovin race jaune	non définies	charrue	650	0,7	550	FENG YANGLIAN
			charrette	420	0,9	378	1984
Inde	Paire bovins Malvi	En station, sur	C. L. : 15 cm	550	0,73	380	RAUTARY, 1987
	530 kg	sols lourds et	pulvériseur 90 cm	500	0,76	402	
		noirs	herse à laue 45 cm	600	0,64	373	
			polyculteur équipé:				
			C. L. : 15 cm	700	0,77	530	
			C. L. : 25 cm	1200	0,53	604	
			2 C. L. de 15 cm	1500	0,49	709	
			2 C. L. de 25 cm	1950	–	–	
	Paire bovins croisés		polyculteur équipé:				
	Red Dane x Sahiwal		C. L.: de 15 cm	700	0,79	552	
	740 kg		C. L.: de 25 cm	1200	0,65	746	
			2 C. L. de 15 cm	1500	0,51	880	
			2 C. L. de 25 cm	1950	0,57	100	
Inde	Paire bovins 435 kg	En station,	traineau:				PREMI et SINGH,
		piste expérimentale	1 ère heure	840	0,92	798	1987
			6 ère heure	840	0,71	589	
Inde	Paire bovins	En station	Traineau attelé				AYRE, 1981
	(poids inconnu)		joug de garrot	2830	0,28	790	après
			joug-collier	2820	0,33	900	SWAMY-RAO,
			C. L. attelé				1964
	1 bovin		harnais dossière	620	0,75	450	
	(poids inconnu)		joug-collier	650	0,84	540	
Népal	Paire bovins 250 kg	Terrasses,	araire				PEARSON,
		aprés saison des	traditionnelle				LAWRENCE et
		pluies					GHIMIRE 1989
		laboureur K		704	0,33	232	
		laboureur R		336	1,0	336	
Népal	Paire buffles 280 kg	Routes abimées du	charettes bois:				PEARSON, 1989
	et bovins 390 kg	Terai et pistes	chargement 380 kg	300	1,0	300	
		agricoles	chargement 587 kg	336	1,0	336	
Thaïlande	Buffles	En station	traineau 340 kg				GARNER, 1957
	(nombre et poids		attelé				
	indéfinis)		joug simple	1480	0,27	400	
			collier	1480	0,40	592	
			bricole	1480	0,45	666	

vait donc être attribuée qu'à la façon dont chaque ouvrier utilisait le matériel: l'un faisait avancer les animaux plus rapidement que l'autre et, pour y parvenir, avait, consciemment ou non, modifié la profondeur de travail et l'orientation du matériel, réduisant ainsi sa résistance à la traction.

Dans la plupart des cas, il est très difficile de distinguer, dans les facteurs intervenant sur la mesure des forces de traction, ceux qui sont propres à l'environnement de ceux liés au matériel. Pour cette raison, LAWRENCE & PEARSON (1985) refusent d'attribuer des valeurs «caractéristiques» à la résistance à la traction, tant que les nombreuses variables liées à l'environnement n'auront pas été rigoureusement définies.

Le tableau 10-1 présente quelques exemples de force, de vitesse et de puissance empruntés à la littérature. Il est évident, d'après ce qui précède, que ces chiffres ne peuvent avoir qu'une valeur indicative et, étant présentés en dehors de leur contexte, c'est avec la plus grande prudence qu'ils doivent être interprétés. Les données présentées ont été collectées dans des conditions différentes, à différentes périodes, et de façon plus ou moins précise; certaines se rapportent à des tests de courte durée, pendant lesquels on a exigé des animaux un travail très pénible; d'autres correspondent à des valeurs moyennes sur des périodes de travail de plus de 5 heures: des comparaisons très ponctuelles seraient donc hasardeuses. Il est plus correct de comparer de façon globale les différents paramètres, tels que l'impact des différents matériels, des animaux, des systèmes d'attelage et de gestion et des personnes. Mais il faut encore insister sur le fait que ces résultats ayant été sortis de leur contexte original, il est fermement conseillé au lecteur de se référer aux publications originales avant d'interpréter ces résultats et d'en tirer une quelconque conclusion.

10.2 Les rendements

Comme nous l'avons vu au chapitre 2, le travail représente le produit de l'effort développé (approximativement équivalent à la résistance du matériel) par la distance parcourue. Le rendement (dépense énergétique) dépend de la quantité de travail (effort x distance) et du temps nécessaire à l'accomplissement de ce travail, qui est déterminé par la vitesse moyenne à laquelle se déplacent les animaux. Quelques-uns des nombreux facteurs intervenant dans les rendements sont représentés à la Fig. 2-3. La résistance du matériel dépend de plusieurs facteurs (abordés au chapitre précédent) dont: la dimension, la forme et le poids; la largeur et la profondeur du travail; le type de sol, le taux d'humidité, le travail antérieur du sol; la quantité et la qualité de la végétation; les obstacles sur le terrain, pierres, souches et racines; la déclivité du terrain.

La distance et la vitesse dépendent en grande partie des caractéristiques des animaux employés: leur espèce (chaque espèce a son allure de marche propre), leur poids, leur taille, leur robustesse, leurs conditions physiques et la qualité du dressage. La puissance fournie par un animal est influencée par son passé (nutrition, maladie, condition physique, dressage, expérience récente du travail attelé) et par son environnement immédiat (température, hygrométrie, ensoleillement, surface du sol). Chaque espèce et chaque individu réagit différemment à son environnement: certains animaux sont plus résistants que d'autres aux maladies, ou ac-

ceptent mieux des conditions climatiques difficiles, telles qu'une température de l'air élevée, un ensoleillement violent ou un sol très boueux. Le bétail à bosse (Bos indicus) qui possède un système de régulation thermique très efficace est capable de supporter de plus longs travaux sous une forte chaleur que le bétail sans bosse (Bos taurus). Les buffles, possédant un système de régulation thermique peu efficace, subissent des problèmes d'échauffement lorsqu'ils doivent effectuer des travaux longs et pénibles, que l'on résout traditionnellement en laissant les animaux se vautrer dans l'eau (BAKRIE, MURRAY, HOGAN et KENNEDY, 1987; PIETERSEN et FFOULKES, 1988; PEARSON, 1989).

Les exploitants et les chercheurs ont souvent observé des différences saisissantes des capacités apparentes au travail chez des animaux de même taille et de même espèce, effectuant le même travail dans les mêmes conditions. (Les animaux pourraient d'ailleurs certainement faire les mêmes remarques à propos des hommes!). Certains animaux peuvent débuter rapidement puis se fatiguer, alors que d'autres peuvent avoir «un démarrage lent» puis atteindre leur meilleure forme en fin de journée. Enfin, d'autres animaux travaillent à la même allure, quelles que soient l'heure de la journée ou les conditions extérieures. Bien que les agriculteurs (et les chercheurs) décrivent souvent l'aptitude au travail des animaux avec des pointes d'admiration et un langage coloré et pittoresque, on peut difficilement définir avec objectivité leurs différences de tempérament ou d'humeur. De telles différences entre animaux de trait sont vraisemblablement le résultat d'interactions physiologiques et/ou psychologiques complexes entre l'animal et son environnement depuis plusieurs années. Ces facteurs comprennent

Fig. 10-4: Expérimentation avec la chaîne de mesures électronique de l'AFRC - Engineering en Ethiopie.
(Photo: Archives AFRC - Engineering)

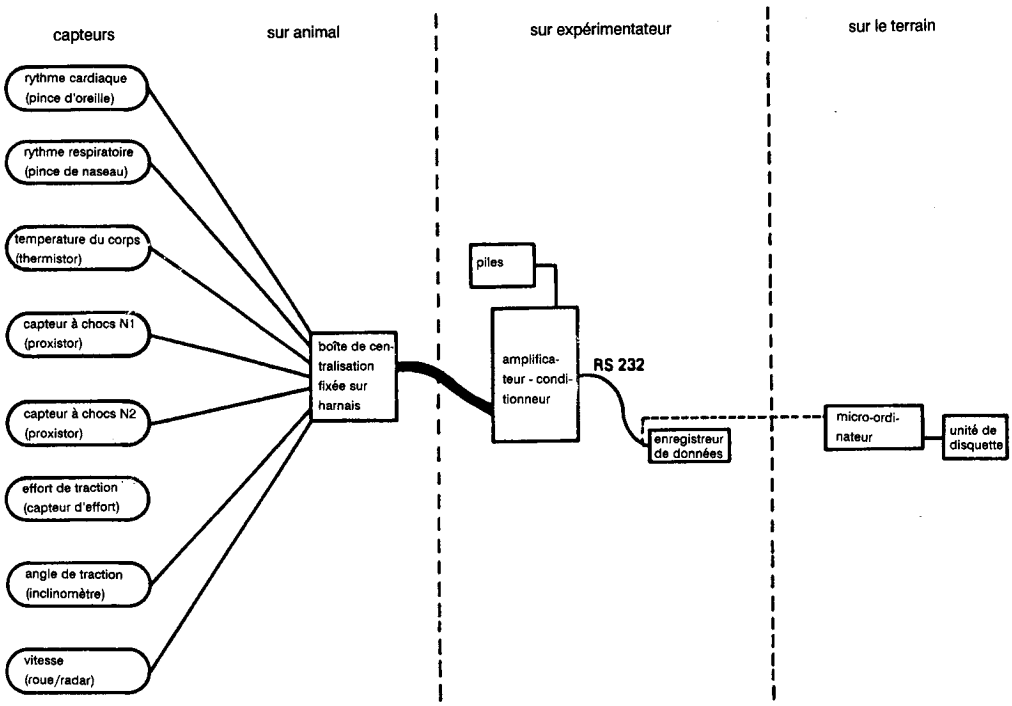


Fig. 10-5: Représentation graphique de la chaîne de mesures. (Source: O'NEILL et al., 1987)

le dressage antérieur, les maladies, la nutrition, leur expérience du travail et leur accoutumance à l'homme.

Voici un exemple intéressant de l'influence de la psychologie de l'animal sur son rendement au travail: on a pu observer que les animaux avancent plus vite et ont plus d'ardeur au travail lorsqu'ils se dirigent vers la ferme que lorsqu'ils s'en éloignent; ceci a été remarqué quelle que soit la déclivité ou l'orientation des champs. Le labour présente alors des sillons «lents» lorsque les animaux tournent le dos à la ferme, et des sillons «rapides» lorsqu'ils lui font face. PEARSON (1989) remarque un effet similaire lors d'essais de traction de charrette sur de longues distances au Népal: les animaux ralentissaient avant, et accéléraient après le virage qui marquait le point le plus distant de la ferme sur un trajet de cinq heures, couvrant 16 km. Ces comportements peuvent être contrebalancés par l'opérateur en fonction de son tempérament ou de l'humeur du moment. Certains animaux comme les bœufs N'Dama sont capables d'établir très clairement les limites de leurs capacités de travail. Une fois cette limite atteinte, ils ne réagissent plus ni à la douceur ni à la persuasion, pas plus qu'aux cris ou aux coups (STARKEY, 1981). D'autres animaux, comme les ânes qui sont très endurants, semblent capables de continuer leur travail même s'ils sont à l'évidence exténués; une qualité bien trop souvent exploitée par les hommes.

L'impact des formes malignes des maladies est évident. Un animal malade est incapable de travailler correctement; les agriculteurs

Fig. 10-6: Mesures de l'effort de traction et du rendement au Népal, à l'aide d'un ergomètre du CTVM. La roue tractée par l'araire sert à mesurer la distance parcourue. Des fils relient les différents capteurs à l'unité centrale (placée ici dans un panier traditionnel). Cette étude a notamment permis de mettre en évidence l'incidence des conducteurs sur le comportement (vitesse et rendement) des animaux au travail. (Photo: A. PEARSON)

savent qu'en faisant travailler un animal affaibli on accélère les effets de la maladie. Les symptômes plus légers, non décelables à l'œil nu, peuvent aussi avoir un effet non négligeable sur le rendement au travail. PEARSON (1989) en fournit un exemple: cet auteur a noté, au Népal, que deux paires de buffles robustes et apparemment semblables présentaient des performances différentes. Il est apparu lors d'un examen que les animaux les moins aptes au travail, et qui avaient éventuellement besoin de quelques jours de repos, étaient en fait anémiés. Aucun symptôme n'était visible mais on pouvait soupçonner une parasitose (probablement une douve du foie) ou une raison quelconque pouvant provoquer une anémie et pouvant réduire ainsi leur aptitude au travail. En Afrique, les animaux de trait peuvent être infestés par de nombreux parasites intestinaux et sanguins comme (dans certaines régions) des trypanosomes ou des maladies transmises par les tiques. Peu de données fiables sont disponibles concernant les maladies endémiques chez les animaux de trait. On n'en trouve aucune sur les effets que ces dernières peuvent avoir sur les capacités de travail, mais l'on peut raisonnablement penser qu'elles peuvent avoir une influence certaine sur la capacité ou l'ardeur au travail des animaux.

Le niveau de qualification des hommes joue un rôle majeur en ce qui concerne la vitesse à laquelle est réalisé un travail dans la mesure où il détermine la résistance réelle du matériel à l'avancement et où il influe largement sur le rythme des animaux, le nombre

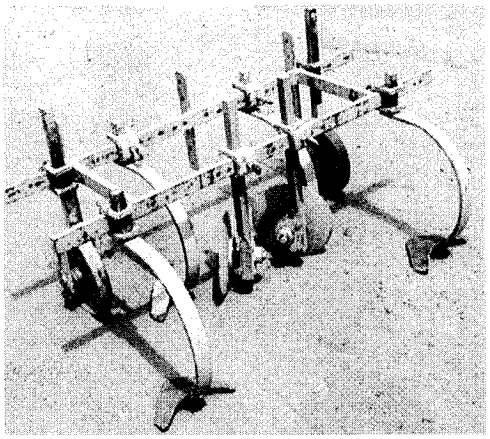


Fig. 10-7: Prototype de porte-outils polyvalent mis au point en Gambie pour la culture du maïs. Ce matériel a donné de bons résultats en termes de qualité du travail, mais certains aspects ayant une incidence sur le rendement se sont révélés différents de ceux obtenus avec la Houe Sine: grande largeur de travail (plus rapide); forte résistance à l'avancement (vitesse moins élevée, pauses plus importantes); faible maniabilité et poids plus important (plus lent, temps en tournières plus élevé, temps de transport village-champ plus long); réglages plus difficiles (pertes de temps pour les mises au point). Ce modèle a généralement été jugé «trop lourd» par les agriculteurs, et il n'a pas dépassé le stade de quelques expérimentations en conditions réelles. (Photo: Paul STARKEY)

et la longueur des arrêts et des pauses. Comme nous l'avons mentionné au chapitre précédent, PEARSON *et al.*, (1989) ont montré au cours d'essais menés au Népal sur le labour de terrasses à l'aide d'araires traditionnels, que différents laboureurs pouvaient faire travailler les mêmes animaux à des vitesses différentes, et dans un environnement présentant des conditions identiques. Les habitudes humaines peuvent recouvrir un large éventail de comportements: un agriculteur seul peut, uniquement à la voix, être capable de faire marcher ses animaux à une allure soutenue ou à tirer une lourde charge, alors que d'autres seront obligés de se réunir à quatre et d'employer la violence et l'intimidation en frappant sur les animaux pour les faire travailler plus vite.

Le changement de profondeur ou de largeur de travail d'un matériel peut présenter des effets à la fois simples et complexes sur les rendements. Si l'on augmente la profondeur de travail, on augmente la résistance du matériel, les animaux ralentissent et se fatiguent plus vite. On diminue alors la vitesse globale de l'opération (et on modifie également la qualité du travail). Les conséquences d'une modification de la largeur de travail sont plus complexes car ils influent sur le rendement de deux manières différentes et opposées. Si on augmente la largeur de travail, on réduit le nombre de passages nécessaires pour couvrir chaque mètre carré ou hectare de terrain; cela veut donc dire qu'à vitesse constante, une plus grande largeur de travail améliore le rendement. Cependant, si la largeur du matériel est plus grande, sa résistance l'est aussi, et celle-ci provoque le ralentissement des animaux, surtout si le travail est déjà pénible. Dans des circonstances très difficiles le fait d'augmenter la largeur de travail peut provoquer l'arrêt pur et simple de l'opération, car les animaux ne peuvent, ou ne veulent, plus continuer à avancer. La largeur de travail optimale sera à chaque fois différente, en fonction des conditions écologiques et de l'état des animaux.

Bien qu'il soit possible d'établir une corrélation positive entre le nombre d'animaux au travail et le rendement, cette relation n'est pas toujours simple. Comme nous l'avons noté au chapitre 2, un seul animal peut travailler, pour des efforts de traction très faibles, aussi efficacement qu'une paire en tirant simplement le matériel à une vitesse normale. Dans un tel cas, le fait de doubler

ou de quadrupler le nombre d'animaux n'aura aucun effet sur le rendement, au moins durant les premières heures de travail. Cependant, s'il est attelé à un matériel offrant une grande résistance, l'animal solitaire va ralentir alors qu'une paire pourra continuer à une vitesse normale et donc travailler avec un rendement supérieur. Si un attelage d'animaux peut assurer la traction à une vitesse normale, une paire supplémentaire sera inefficace à court terme. Toutefois, cette paire supplémentaire pourrait permettre éventuellement de tirer à la même vitesse un matériel présentant une résistance encore plus grande. L'emploi d'un nombre supérieur d'animaux par matériel permet d'obtenir des vitesses de traction constantes sur de plus longues périodes, par jour ou par semaine. L'attelage multiple a été présenté au chapitre 3 (paragraphe 3.6): on y a noté que sur les petites parcelles deux paires attelées ensemble peuvent être plus efficaces qu'un attelage de quatre animaux, grâce à la plus grande maniabilité des petits attelages.

Un grand nombre d'autres facteurs peut aussi modifier le rendement: la façon dont sont harnachés les animaux, la forme de la parcelle, les contours et les obstacles, les conditions météorologiques ou le moment de la journée et leur influence sur l'humeur des hommes et des animaux. En réalité, le rendement à tel endroit et à tel moment précis dépend d'une combinaison unique de variables. Ce fait rend problématique toute comparaison entre des rendements concernant différents travaux, matériels, animaux, sols, saisons, situations géographiques.

L'absence de définition exacte du temps de travail complique encore les comparaisons entre rendements. Les rendements réels pour une opération donnée peuvent être aisément

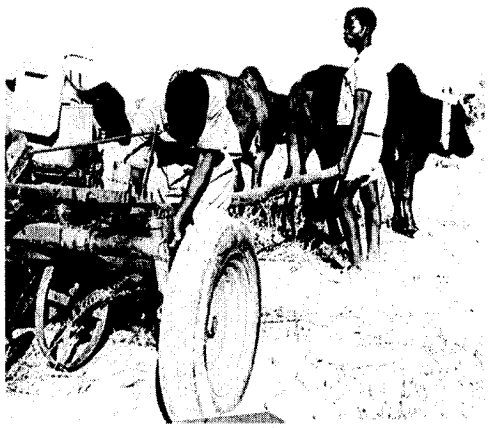


Fig. 10-8: Réglage d'un polyculteur de construction locale en Zambie. Le temps consacré aux réglages et aux réparations est partie intégrante du travail normal et doit être dûment pris en compte lors des essais.
(Photo: J. RAUCH)

calculés si l'on chronomètre les animaux et si l'on mesure cette variable (par exemple surface travaillée = distance x largeur de travail). Cette façon de calculer le «temps de travail réel» présente l'avantage de ne pas prendre en compte le temps perdu en apparemment faux incidents de parcours (négocier des obstacles, mauvaise tenue des rênes, ou tout autre incident important au niveau du matériel). Néanmoins, tout calcul qui néglige le temps perdu est erroné, car ces «faux» facteurs sont autant de réalités qui affectent concrètement le travail de l'agriculteur. Les mesures de temps réalistes doivent intégrer le temps *non travaillé* à cause de «bourrages», de mises au point et de pannes. Elles doivent également tenir compte des pertes de temps répétées dans les tournières, qui dépendent de nombreux facteurs tels que la maniabilité du matériel, la forme de la parcelle, le nombre et l'efficacité des hommes et des animaux.

Les *périodes de repos* au champ des hommes et des animaux doivent également être prises en compte lors d'une estimation réaliste des rendements; le nombre et la durée de ces pauses influent directement sur le rendement au travail entre ces périodes. On a pu recueillir un certain nombre de données selon lesquelles les «pauses» courtes, limitées à quelques secondes comme celles se produisant en tournière, sont tout à fait indispensables pour permettre aux animaux de travailler régulièrement et de maintenir leur métabolisme au-dessous du niveau de stress (KEMP, 1989). D'après PEARSON (1989) même si les buffles et les bovins peuvent tracter une charrette portant une charge de 500 kg à allure régulière, sur une distance de 16 km, ces animaux doivent se reposer et se vautrer dans l'eau à heure régulière afin de diminuer leur température, qui a tendance à augmenter considérablement au cours du travail. Les bovins offrent un rendement supérieur car ils n'ont pas besoin de temps de repos; on les utilise plutôt dans les cas où la durée du travail est primordiale. Au cours d'essais menés au Costa Rica, on a pu montrer que des bœufs effectuant un travail «pénible» (labour avec une force de traction de 1100 N) ne travaillaient réellement que durant 77% du «temps de travail», alors qu'ils travaillaient durant 90% de ce temps au cours d'opérations moyennement difficiles (fauchage avec une force de 600 N), ce pourcentage passant à 96% lorsque les animaux effectuent un travail léger (traction d'une charrette avec une force de 214 N) (LAWRENCE, 1989).

Le temps consacré à la *préparation*, à savoir le harnachement des animaux, l'installation et le réglage du matériel peut également être considéré comme faisant partie du temps du travail réel. Ce problème devient important si l'on doit comparer le rendement d'un matériel simple avec celui d'un matériel plus complexe. En effet, le temps gagné au champ peut nécessiter une longue préparation, qui finalement diminue ce gain de temps; des temps de préparation trop longs peuvent expliquer en partie le succès limité rencontré auprès des agriculteurs par des matériels tels que les harnais à trois coussins pour bovins, les polyculteurs ou les semoirs de précision. Enfin, il est correct d'inclure le temps *d'acheminement* dans le temps de travail. Naturellement, cette période va dépendre de la distance séparant le champ de l'habitation ou de l'enclos, et de la nature du terrain et des voies de communications. Cependant, le temps d'acheminement peut aussi être corrélé à la facilité de transport du matériel, ainsi qu'à la nature et à la qualité du dressage des animaux. L'importance du temps d'acheminement devient évidente lorsqu'on compare des matériels lourds et légers dans des régions où les voies de communications sont étroites.

Les ingénieurs agronomes emploient parfois le terme de «rendement au champ» pour comparer des matériels ou des pratiques culturales. Ces rendements s'expriment comme le quotient du rendement réel (ou rendement effectif au champ) sur le rendement théorique. Le rendement théorique s'applique à un travail non-stop, sans aucune perte de temps en thèmes de demi-tours, de pauses ou de réglages. Le concept de rendement au champ mettant en évidence les «pertes de temps» occasionnées par les manœuvres ou les pannes, est utile lorsque l'on compare deux matériels, deux systèmes d'attelage ou des pratiques culturales se déroulant dans des conditions identiques. Toutefois, bien que l'idée d'une vitesse de travail théorique constante pendant plusieurs heures, soit cré-

dible pour des tracteurs indifférents à la fatigue, ce même concept appliqué aux animaux devient pour le moins absurde. Les rendements des animaux étant étroitement liés au contexte et la notion de temps de travail très variable, les résultats concernant le rendement aux champs des animaux de trait ne peuvent être comparés avec réalisme, que s'ils proviennent du même auteur. Il est évident qu'une évaluation réaliste des rendements ne peut qu'être basée sur l'expérience effective des paysans et qu'il faut, pour ce faire, soit avoir recours à des sondages, soit, tout simplement interroger les paysans. Au cours d'une étude détaillée menée sur les hauts plateaux éthiopiens, GOE (1987) a comparé des mesures de temps de travail précisément chronométrées avec les estimations «à vue» des agriculteurs: ces derniers ont généralement donné des chiffres légèrement supérieurs aux mesures exactes, mais restant dans les limites normales des temps mesurés.

Lorsque l'on connaît la surface travaillée et la durée globale du travail, il est possible de calculer le rendement en surface par unité de temps (mètre^2/heure, par exemple) ou en temps par unité de surface (heure/hectare, par exemple); mais, le fait que les hommes et les animaux ne peuvent travailler que pendant un nombre limité d'heures par jour, et de jours par semaine complique encore les estimations, et un rendement effectif estimé à 24 heures/hectare ne signifie pas obligatoirement que le travail pourra être réalisé en trois journées de 8 heures. Ainsi, lors d'une étude sur le terrain en Ethiopie, les agriculteurs labouraient souvent pendant 7 heures par jour, mais n'employaient pas leur animaux plus de trois jours consécutifs, ou plus de quatre jours par semaine (GOE, 1987). Dans d'autres régions, il arrive que les paysans ne fassent travailler leurs animaux que trois ou quatre heures par jour, ponctués par un (ou deux) jour de repos: il peut alors falloir jusqu'à deux semaines pour effectuer 24 heures de travail. Cet aspect revêt une importance particulière pour les opérations culturales dans lesquelles le facteur temps est primordial. Ainsi, lorsque la main d'œuvre agricole est abondante, on peut réaliser les travaux *plus rapidement* en culture manuelle qu'en culture attelée, même si les rendements des matériels à traction animale sont beaucoup plus élevés. Il faut, en outre, remarquer que les rendements donnent rarement une idée de la *qualité* du travail accompli; ce point est pourtant vital lorsque l'on procède à l'évaluation des avantages et des inconvénients comparés de matériels et de techniques.

Les rendements obtenus en station sont certainement très différents de ceux obtenus en conditions réelles. Les conséquences des pertes de temps qu'impliquent la préparation et le transport des matériels, et les virages en tournières sont proportionnellement plus importants que lorsque de grandes surfaces peuvent être travaillées en une seule fois. Le choix d'un matériel par un agriculteur ne dépend pas d'un résultat expérimental même excellent, mais des rendements réellement obtenus aux champs. Ceci peut expliquer que certains matériels intéressants et apparemment susceptibles de bons rendements n'aient pas été acceptés par les agriculteurs.

La connaissance des rendements peut être utile au niveau de la pré-sélection de modèles de matériels destinés à être évalués en milieu réel. On peut se faire une idée préalable de la rentabilité d'un matériel en comparant les rendements de divers modèles entre

Tableau 10-2: Exemples extraits de documents scientifiques concernant des mesures d'effort, de rendements et du rapport: effort/poids/attelage. Remarque importante: les résultats présentés ci-après ont été obtenus dans différentes conditions d'environnement, et avec des degrés divers de précision, de répétition et de rigueur scientifique. Ce données ne sont fournies qu'à titre indicatif et ne sont pas conparables entre elles sans référence aux documents originaux. Certains résultats ont été recalculés à partir des donnés fournies dans les articles originaux. (P : Polyculteur; Planches larges : SA; Souleveuse d'Arachides)

Pays	Animaux	Conditions	Matériel	Effort (N)	Travail (m^2/h)	Travail (m^2/j)	Effort Poids	Références
Burkina Faso	Paire zébus Ouest – Afrique 400 kg	En station, sols sablo-argileux premières pluies	C. L. : 25 cm 5 dents cultivateur		588 1250	2352 5000		HERBLOT, 1982
Ethiopie	Paire zébus éthiopiens 250-320 kg	Champs paysans après jachère longue jachère courte	maresha	 1195 928	 199 222	 424 510	 23% 17%	GOE, 1987
Ethiopie	1 bovin: zébu éthiopien 300 kg zébu x Boran 372-465	Champs paysans	maresha profondeur labour 13,9 cm 14,6 cm	 595 685	 220 242	 920 998	 20% 24%	ABIYE, ASTATKE, et al ... 1986
Kenya	Paire zébus 310 kg paire bovins Sahiwal x Frison 385 kg	En station, saison des pluies	charrue à versoir/ sarcleuse	968 885	720 730	2860 2910	16% 11%	TESSEMA et EMOJONG 1984
Madagascar	Paire zébus 325 kg	En station.	charrue	811	0,69	560	12,5%	SCHERRER, 1966
Maroc	cheval 270 kg mulet 460 kg chameau 420 kg	En station, vertisols pluies hivernales	C. L. : 20 cm	795 923 569			30% 20% 14%	BANSAL et al.
Sénégal	Paire zébus ouest – Afrique 400 kg	En station, valeurs générales	P. avec: semoir 2 rangs sarcleuse 120 cm S.A. 1 lame S.A. 2 lames	 450 600 450 750	 1428 1250 770 1111		 6% 8% 6% 9%	NOURISSAT, 1965 MONNIER, 1965
Sierra Leone	Paire bovins N'Dama 260 kg Bovin seul 290 kg	Terres inondées, marais, en station, sol caillouteux, saison des pluies	C.L.: 20 cm herse 17 dents C.L.: 20 cm sarcleuse 3 dents	700 850 650 600	300 500 400 1100	900 1500 2000 2200	14% 16% 1% 21%	STARKEY, 1981
Thaïlande	Buffle des marais 270 kg sans complémentation avec complémentation	En station saison des pluies rizière	timon bois local charrue à versoir		 972 1215	 3900 4900		KONANTA et al. 1986
Bengladesh	Paire bovins 250 kg, 1 bovin 245 kg	En station	araire à 12 cm araire à 10,6 cm	343 231	680 660		7% 9%	Barton, 1988
Inde	Paire bovins Malvi 250 kg	En station, sols noirs et lourds	C. L. : 15 cm Pulvériseur 90 cm herse-lane 45 cm P avec: C. L. : 15 cm C. L. : 25 cm 2 C. L. de 15 cm 2 C. L. de 25 cm	550 500 600 700 1200 1500 1950	309 1814 731 365 392 496 –	2165 12710 5120 2250 2745 1490 –	10% 9,5% 11% 13% 23% 28% 37%	RAUTARY. 1987
Inde	Paire zébus Hallikar 450 kg	Vertisols, système PL en station, labour et buttage après première récolte; autres travaux pendant saison des pluies	Tropicultor, P. avec: 2 C.L. de 22 cm 2 billonneuses herse à dents formeuse de P.L. semoir sarcleuses à dents	 2300 1830 1600 1850 1020 1120	 4000 4000 2272 3030 3333 2500		 25% 20% 18% 21% 11% 12%	BANSAL et SRIBASTAVA 1981

eux, ou avec des systèmes manuels. Lorsque l'on étudie des résultats publiés, il faut savoir qu'ils ont été obtenus dans des circonstances particulières, et tenter de les replacer dans leur contexte (en ce qui concerne les différents facteurs tels que animaux, sols, hommes, équipement, etc), et connaître quelle définition exacte du rendement a été utilisée, avec quelle précision et sur quelle période il a été mesuré. Le tableau 10-2 présente quelques exemples de rendement extraits d'un nombre important de publications. Les valeurs indiquées sont très différentes les unes des autres en fonction des conditions dans lesquelles elles ont été collectées, de la définition du «temps de travail», de la précision de la mesure et de son degré de répétition, de la randomisation et d'éventuelles analyses statistiques. C'est donc avec la plus grande prudence que le lecteur utilisera les données consignées dans ce tableau. Les valeurs provenant d'une même source sont globalement comparables mais il serait risqué de comparer des données provenant d'auteurs différents sans consulter les publications originales afin de connaître le lieu où se sont déroulés les essais, leur durée et les conditions dans lesquelles ils ont été réalisés.

En conclusion, le concept de «rendements» agricoles doit, dans la mesure du possible, se rapporter aux actions conjuguées de l'équipe de travail au sens large (hommes-matériels-animaux). Si les recherches spécifiques peuvent exiger l'étude particulière d'éléments individuels et de mesures à court terme de composantes, c'est dans l'optique de l'utilisateur qu'elles doivent être *interprétées*. Les rendements des exploitants doivent être adaptés à leurs propres systèmes de production, c'est-à-dire à leurs animaux, aux conditions du terrain, à leurs pratiques culturales, à leurs ressources économiques et en hommes, et à leurs aspirations sociales. Lorsqu'il effectue un travail, le paysan marche généralement à la même allure et parcourt la même distance que les animaux, et un long travail facile est parfois préférable à une tâche difficile, même si elle est réalisée à faible allure; il arrive que les animaux aient besoin de se reposer en même temps que l'agriculteur. Dans certains cas, pour le paysan, c'est la rapidité du travail et le respect du calendrier qui revêtent une importance cruciale, or la rapidité avec laquelle il réalise les opérations peut avoir une incidence considérable sur la récolte; dans d'autres cas, ce sont des aspects tels que le confort ou même l'apparence extérieure du matériel que l'agriculteur va privilégier. Même lorsque la vitesse constitue un élément critique pour le paysan, le rendement global qu'il pourra atteindre par jour, par semaine, par saison, par animal, ou par parcelle sera vraisemblablement plus important que les «rendements horaires» apparents.

10.3 Travail «lourd» et travail «léger»

Pour les agriculteurs et les chercheurs les différences entre un travail «lourd» et un travail «léger» sont évidentes. Même si ces termes ont une bonne valeur descriptive, leur emploi comporte un risque, car il peut simplifier à l'extrême des situations réellement très complexes. En particulier, il est dangereux de qualifier un travail de «léger» ou de «lourd» à partir de simples estimations d'efforts de traction ou de rendements énergétiques. Certains ont tenté d'évaluer le rendement au travail et la dépense d'énergie à partir des seules mesures d'efforts de traction et, pour simplifier, ont supposé la vi-

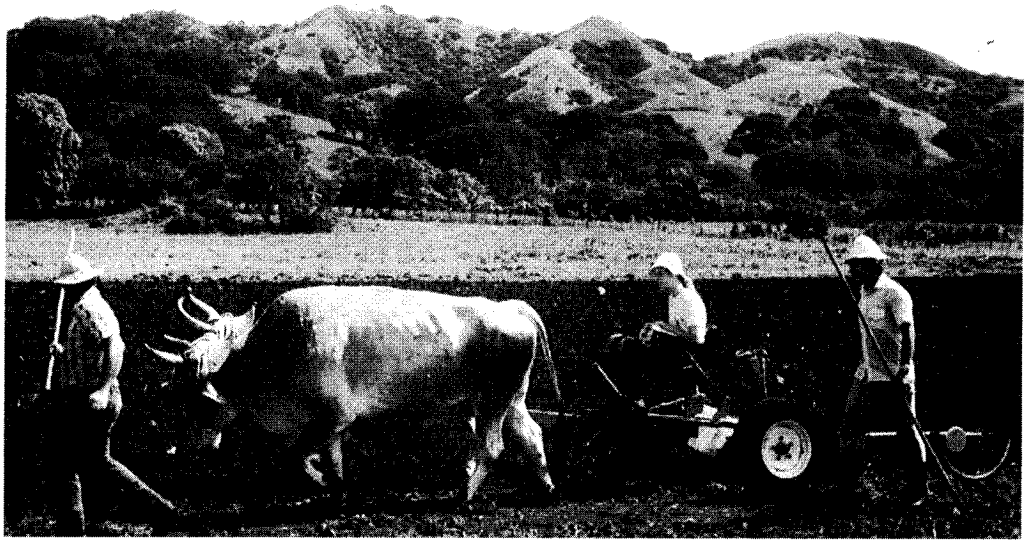


Fig. 10-9: Mesure des efforts de traction, de la distance et du rendement des bœufs, à l'occasion d'essais au Costa Rica. (Photo: Peter LAWRENCE)

tesse constante, sans tenir compte ni de la résistance à la traction, ni du temps requis. Le plus souvent, on a calculé le rendement en multipliant la vitesse d'avancement par la force de traction, le travail étant considéré comme le produit de la puissance par le temps. De tels calculs, pris isolément, ne donnent pas une image fidèle, s'ils ne prennent pas en compte les importantes variations de vitesse des animaux, les périodes de repos et la distance parcourue par les animaux.

On admet généralement, depuis plusieurs années, que les animaux tractant de lourdes charges dépensent forcément plus d'énergie par jour que ceux qui tractent des charges plus légères. Cette idée a conduit à la publication de recommandations détaillées concernant les différents niveaux de rations alimentaires à donner aux animaux en fonction du type de travail à effectuer (CEEMAT, 1971; CEEMAT/FAO, 1972; REH, 1982). Toutefois, au cours d'essais menés au Costa Rica, on a pu montrer que pour une journée de travail de 5,5 heures, des animaux effectuant un travail léger (traction d'une charrette et effort de 200 N), moyen (fauchage, 600 N) et lourd (labour, 1100 N) consommaient à peu près la même quantité d'énergie; cette grandeur étant calculée à partir de la mesure du travail réalisé, de la distance et de l'ascension des pentes parcourues au cours du travail (LAWRENCE, 1989). Ce résultat plutôt surprenant peut s'expliquer ainsi: même si les animaux qui effectuent le travail «lourd» développent une force de traction *cinq fois* plus grande que ceux effectuant un travail léger, les premiers marchent plus lentement (0,6 ms^{-1}, contre 1 ms^{-1}) que les seconds. En fait, l'énergie moyenne dépensée au cours de travail «lourd» est trois fois (et non cinq) plus importante. Les bœufs prennent plus de repos lors d'un travail difficile, mais ne travaillent réellement que pendant 77% du temps, contre 96% lorsqu'ils effectuent un travail léger. De plus, les animaux chargés du tra-

vail lourd ont parcouru 8,9 km durant les 5,5 heures, et les autres 19. L'énergie nécessaire à ce parcours est considérable: à la fin de la journée de travail, les bœufs qui avaient peu tiré mais beaucoup marché ont dépensé plus d'énergie que ceux ayant travaillé intensément sur une distance plus courte; par conséquent, dans cet exemple, les animaux ayant assuré un travail «léger» auraient eu besoin d'au moins autant de nourriture que ceux ayant effectué un travail «lourd», pour compenser l'énergie consommée (LAWRENCE, 1989).

L'énergie consommée par l'animal pour son propre déplacement n'est généralement pas prise en compte lors de comparaisons de rendements pour les opérations culturales, et elle n'apparaît pas dans les mesures standards de rendements énergétiques. Néanmoins, elle est loin d'être négligeable, car elle a un impact certain sur les besoins nutritionnels de l'animal; elle doit représenter environ un tiers de la dépense énergétique totale lors de labours moyens, et deux tiers lors de la traction de charrettes sur route (LAWRENCE, 1985). En sol très boueux, une proportion encore plus grande de l'énergie de l'animal est employée à son propre déplacement; en effet, le déplacement d'un animal dans 300 mm de boue entraîne une dépense énergétique presque deux fois supérieure à celle relevée en conditions normales (LAWRENCE, 1987).

En conclusion des recherches qu'ils ont menées au Costa Rica, au Népal et au CTVM, LAWRENCE et PEARSON (1990) font valoir que le rendement au travail des animaux est limité par la quantité globale d'énergie qu'ils sont capables – ou acceptent – de dépenser *quelle que soit l'action*; c'est-à-dire, non seulement pour la traction, mais aussi pour la marche, le transport de charges et l'ascension de pentes. Selon LAWRENCE et PEARSON, l'énergie que peut dépenser un bœuf sur une période donnée dépend de son poids et de la durée du travail; cette consommation varie de 0,9 MJ pour 100 kg/heure (pour un animal de 800 kg travaillant 8 heures) à 1,7 MJ pour 100 kg/heure (pour un animal de 200 kg ne travaillant qu'une heure). Ces auteurs ont établi un tableau qui permet une lecture facile de ces estimations de l'énergie disponible. Ils proposent également une équation qui permet, à partir de cette «disponibilité en énergie», de prévoir la distance sur laquelle on peut raisonnablement faire travailler un bœuf pour une période donnée (donc le travail qu'il peut accomplir), supposant connue la force de traction «moyenne». L'équation est la suivante:

$$d = \frac{300\,E}{F + 0{,}6\,M}$$

où d est la distance parcourue (km); E, l'énergie disponible pour le travail (MJ); F, la force de traction moyenne (N); et M, le poids du bœuf (kg).

Les auteurs remarquent que de nombreuses variables peuvent être considérées comme constantes lorsque l'on utilise une telle équation. Si les paramètres concernant l'animal ou l'environnement ne sont pas optimaux, les prévisions peuvent être erronées de plus de 40%. LAWRENCE et PEARSON admettent tout à fait les limites de leur équation: si elle est l'un des outils les plus précis mis à la disposition des *scientifiques* pour prévoir le rendement du travail, les agriculteurs expérimentés sont capables de procéder à des estimations fort valables qu'ils n'expriment pas en MJ, mais dans leurs propres termes: «cette paire d'animaux

peut labourer tel champ, dans telles conditions, en 3 heures et demie».

Un autre ouvrage, à paraître dans cette série, traitant des animaux de traits, de l'utilisation de leur énergie, de leurs capacités de travail et leurs besoins nutritionnels, ce sujet ne sera pas traité ici. L'auteur reconnaît qu'il n'est guère satisfaisant d'étudier les différents aspects des associations animal-matériel dans des ouvrages distincts – surtout lorsque l'on recommande une approche intégrée des combinaisons animal-matériel-paysan –, mais cette démarche, qui consiste donc à envisager séparément les animaux et les matériels, a permis de donner aux ouvrages de cette série une taille raisonnable, et il est à souhaiter qu'ils puissent être lus comme un ensemble. Nous concluront dans cette optique en soulignant combien il peut être dangereux de limiter une étude sur les rendements aux seules interactions entre le matériel et l'environnement, car on néglige alors des informations essentielles concernant les animaux, le travail global qu'ils fournissent et celui qu'ils peuvent effectivement réaliser en un temps donné.

10.4 Puissance «moyenne» et rendements «raisonnables»

HOPFEN (1960; 1969) a publié des tableaux de valeur sous le titre «Puissances de traction moyennes de différents animaux» et «Force de traction requise par certains matériels agricoles en sols moyennement limoneux». Ces données ont été reprises depuis dans d'autres publications, même si le poids des animaux utilisés (500 à 900 kg pour les bœufs; 400 à 700 kg pour les chevaux «légers») sont différents de ceux habituellement employés en régions tropicales. Une synthèse des résultats expérimentaux obtenus par SCHERRER (1966) à Madagascar et en Afrique de l'Ouest a été faite par le CEEMAT (1968; 1971); l'ouvrage du CEEMAT a été ensuite traduit et publié par la FAO (CEEMAT/FAO, 1972); ces résultats ont été depuis largement cités et font désormais autorité, grâce aux mentions du type «d'après la FAO» que l'on emploie pour les citer. GOE et MAC DOWELL (1980) ont établi, à partir de données empruntées à différents ouvrages qu'ils ont consultés, un tableau présentant des estimations de la capacité de traction de différentes espèces tractant du matériel agricole à des vitesses faibles ou élevées.

Les tableaux généraux, tels que ceux mentionnés ci-dessus, sont fort utiles car ils donnent des ordres de grandeur en matières de capacités de travail. Cependant, il apparaît clairement à la lecture des chapitres et des paragraphes précédents, que les animaux, le matériel agricole, l'environnement et les hommes peuvent être, dans l'espace, très différents. Les concepts de «traction moyenne» ou de «rendements raisonnables» sont donc quelque peu déplacés dans un ouvrage comme celui-ci. Ce qui est considéré comme «raisonnable» dans le système de production propre à un pays, ou à une région, peut être totalement insensé ailleurs. C'est pourquoi nous ne feront ici aucune suggestion ni recommandation concernant les rendements, et les résultats obtenus sur le terrain figurant dans les tableaux 10-1 et 10-2 doivent donc être abordés avec la plus grande prudence. Quiconque ayant besoin de données plus précises devra plutôt recourir à des sources d'informations sur place (auprès d'exploitants ou de chercheurs) ou dans les pays voisins (en s'assurant des conditions spécifiques dans lesquelles ces

Fig. 10-10: Buffle avançant dans la boue pendant une expérience menée au CTVM d'Edimbourg (R.U) pour étudier les effets des conditions naturelles sur l'énergie développée par les animaux au travail. Le museau de l'animal est couvert d'une sorte de masque (fabriqué à partir d'un seau) qui permet de récupérer l'air qu'il expire et de l'analyser; on peut ainsi mesurer la quantité d'oxygène consommée et la quantité d'acide carbonique produite, et calculer la consommation d'énergie correspondant à la marche et au travail. (Photo: Bob MUNRO)

données ont été obtenues). Le lecteur trouvera plus loin des sources d'informations complémentaires.

On a quelquefois exprimé la traction animale «raisonnable», en «supportable» ou «maximum» en fonction du poids de l'animal. On résout alors le problème de la grande diversité de poids des animaux et des forces de traction. HOPFEN évalue, pour la plupart des animaux, la traction normale comme étant le dixième (10%) du poids corporel (15% pour les chevaux). D'après le CEEMAT (1971) et le CEEMAT/FAO (1972) les bœufs peuvent développer un effort moyen de traction du dixième de leur poids en terrain non travaillé, et de 1/8e (12,5%) lorsqu'ils labourent un sol bien préparé. Le CEEMAT évalue la force moyenne des ânes à 17-25% de leur poids corporel. D'après le CEEMAT (1971) et CEEMAT /FAO (1972), l'attelage multiple induirait une perte de la force de traction par animal de 7,5%.

WATSON (1981) formule des recommandations proches de celles du CEEMAT/ FAO, correspondant à 12% pour les bœufs et 20% pour les ânes, avec une perte de 7,5% par animal dans le cas d'un attelage multiple. REH (1982) cite les résultats du CEEMAT/FAO, mais publie des valeurs de traction moyenne nettement plus faibles: 4% du poids corporel pour les bœufs et les chevaux, et 16% pour les ânes, avec des pertes de 10 à 28% en cas d'attelage multiple. GOE et MAC DOWELL donnent des estimations plus générales (de 10 à 14% du poids corporel pour la plupart des animaux avançant à une allure comprise entre 0,66 et 1,1 ms^{-1}), accompagnées de calculs plus spécifiques et précis donnant 10 à 12% du

poids corporel pour les chevaux, 10 à 14% pour les bœufs, les buffles et les chameaux, et 10 à 16% pour les ânes. Ces auteurs corroborent les données du CEEMAT donnant une réduction de 7,5% par animal en cas d'attelage multiple.

PATHAK (1984) considère comme trop optimistes les estimations données par VAUGH (1945), soit 15-20% du poids pour un bœuf; il fait observer qu'une force de traction supérieure à 8-10% du poids du bœuf peut exercer une pression excessive sur l'animal si elle est maintenue pendant plusieurs heures. Puis KEBEDE et PATHAK (1987) décrivent des tests d'endurance au cours desquels des zébus éthiopiens ont pu tirer des charges correspondant à 5, 10, 15 et 20% de leur poids, pendant 6 heures par jour, sur cinq jours. Les rendements en travail et en puissance sont plus élevés à 10% et à 15% qu'à 20%, mais ces auteurs estiment que les animaux sont effectivement capables de tirer 20% de leur poids de manière prolongée. D'autres résultats obtenus en Ethiopie suggèrent qu'un labour normal (effectué sur des durées pouvant atteindre 4 jours par semaine) fait appel à une force représentant 17 à 23% du poids durant 6 heures par jour (GOE, 1987). En Inde, au cours d'un programme de relevé de données sur le labour, KEMP (1987), a pu montrer que les approximations «à vue de nez» donnant 10% du poids corporel fournissent, si on les applique au labour, une surestimation des valeurs réelles de la charge, si elle est appliquée de manière continue.

Nous avons cité à titre d'exemples, dans le tableau 10-2, quelques valeurs de force de traction exprimées en pourcentage du poids de l'animal ou de l'attelage. Quelques-unes de ces valeurs ont été calculées par les auteurs, mais la plupart ont été estimées à partir des données figurant dans des publications. On trouve, dans les rapports techniques concernant des mesures sur plusieurs heures, des cas de travaux soutenus avec des forces de traction apparentes de 5 à 25% du poids des animaux. Lorsque les mesures sont effectuées sur des temps plus courts, on estime la force de traction à 10-40% du poids de l'animal. Nous ne donnerons pas ici de valeurs standard car, pour établir qu'un animal, d'une espèce ou d'une race donnée, peut être capable de développer une force correspondant à 10 ou 15% de son poids, encore faut-il savoir comment cette force a été calculée et s'il s'agit de rythmes horaire, quotidien ou hebdomadaire.

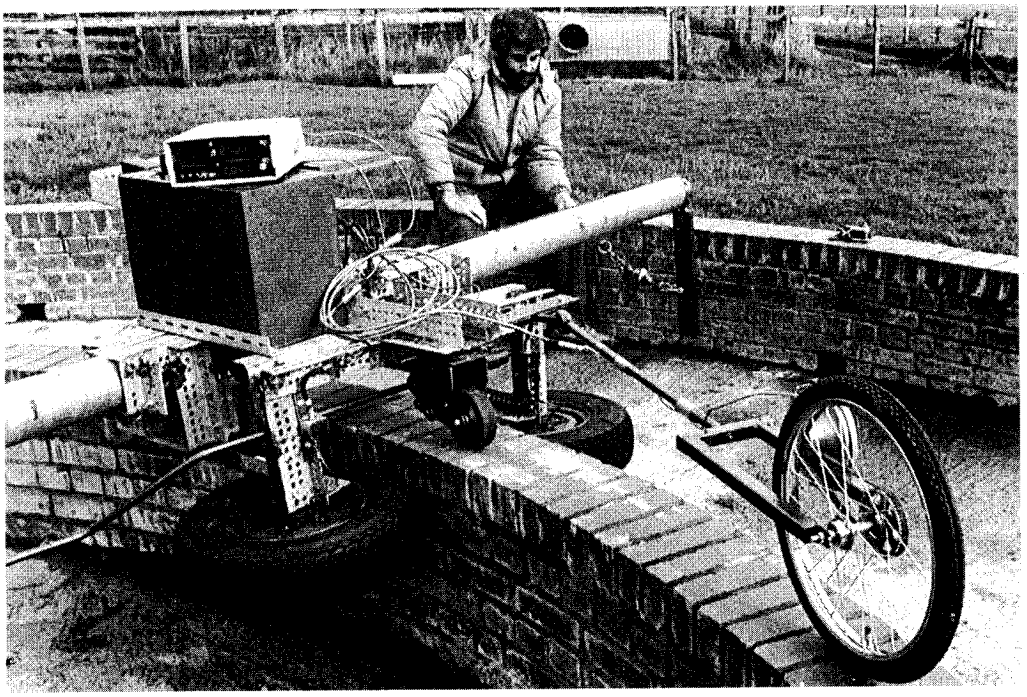
Les concepteurs d'outils agricoles ou de systèmes d'attelage doivent prendre en compte, non seulement la force de traction moyenne que les matériels requièrent des animaux, mais aussi des forces instantanées très importantes susceptibles de se produire; des charges d'une intensité 5 à 10 fois supérieure (parfois plus) à celle de la traction normale requise, peuvent se manifester lorsque le matériel heurte brusquement une pierre ou une souche. Lorsque les animaux sont surpris ou effrayés, ils peuvent exercer brusquement des tractions violentes dans des directions inhabituelles et imprévisibles. De tels chocs peuvent briser un matériel usagé, casser des harnachements en mauvais état, ou blesser les animaux eux-mêmes. Les concepteurs doivent prévoir des marges de sécurité suffisantes, si les matériels et les systèmes d'attelage sont appelés à subir des chocs importants. L'équipement doit pouvoir supporter des forces instantanées équivalentes à au moins 100% du poids des animaux ou des attelages pour les bovins, et davantage encore pour les chevaux.

10.5 L'évolution des techniques et des instruments de mesure

Avant que les puces électroniques n'aient ouvert le vaste domaine de la saisie de données, la plupart des recherches sur les forces de traction étaient basées sur la lecture de dynamomètres à ressort ou hydrauliques. Au cours des années 60 le CEEMAT (SCHERRER, 1966) a conduit dans différents pays d'Afrique des études, qui restent parmi les plus complètes réalisées dans ce domaine, et en a présenté une synthèse dans l'ouvrage qu'il a publié en 1971 sur la traction animale. GOE et MAC DOWELL citent et analysent, en 1980, des données provenant d'études effectuées dans différents régions, et fournissent également quelques ordres de grandeur sur les capacités de traction de différents animaux de trait.

Il est intéressant de noter que les progrès techniques réalisés en matière d'instruments de mesure n'ont apparemment pas invalidé ces premières études, ce qui nous permet de penser que les anciennes techniques peuvent encore être utilement employées à cette fin. Comme nous l'avons vu précédemment, les facteurs de variations sont tels d'une mesure à l'autre que, dans la plupart des cas, *l'interprétation* des mesures est plus importante que leur «précision»; on compte, en effet, de nombreux exemples de chercheurs ayant procédé à des mesures très précises à l'occasion d'essais en station, sur la force de traction requise par un matériel qui, par la suite

Fig. 10-11: Détail de l'ergomètre utilisé au CTVM pour étudier les animaux de trait. On peut faire varier la charge de travail grâce aux roues de friction tournant sur le mur intérieur; la distance parcourue est enregistrée par la roue de bicyclette. (Photo: Bob MUNRO)



n'a pas été accepté par les paysans, simplement parce qu'ils le jugeaient «trop lourd». Plusieurs mois de travail auraient pu être épargnés si les chercheurs, laissant de côté leurs dynamomètres, avaient simplement demandé à quelques agriculteurs d'expérimenter le prototype avec leurs propres animaux sur leur terrain, et de leur faire savoir s'ils leur «semblait» que la force de traction requise était raisonnable ou excessive. Ceci ne veut pas dire que des mesures précises et répétées n'ont jamais aucune valeurs car elles sont parfois réellement indispensables, mais on rencontre aussi des cas où les personnes sont tellement obnubilées par la collecte de données qu'elles en arrivent à prendre les chiffres pour des agriculteurs!

Dans ce chapitre, nous avons parlé «d'estimations» en termes de mesures scientifiques: newtons, mètre par seconde, watts ou mètre carré par heure. Ces unités sont importantes, car elles permettent des échanges d'informations entre scientifiques et techniciens agricoles, mais elles ne signifient rien pour la plupart des agriculteurs. Or, «l'estimation» de l'exploitant est fondamentale. Tous ceux qui espèrent que leur travail aura un impact (direct ou indirect, à court ou à long terme) sur la conception, la sélection, la production, la commercialisation ou l'utilisation d'un système d'attelage ou d'un matériel agricole doivent savoir que les progrès véritables dépendent finalement des agriculteurs et de leurs jugements; les chercheurs et les développeurs doivent donc prendre en compte l'opinion des agriculteurs, le plus tôt possible dans leurs projets. Les exploitants n'utilisent pas de dynamomètres, de capteurs ou d'ordinateurs pour se faire une opinion, et il devrait donc être possible d'établir des critères de performance avec un équipement minimum. La notion de «surface moyenne cultivée par attelage et par jour de travail» peut ne pas sembler scientifique, ni précise ou reproductible, mais elle peut néanmoins être beaucoup plus utile que le fait de «savoir» que tel matériel nécessite «une traction moyenne de 857,8 N».

L'emploi d'ordinateurs capables de collecter et de traiter rapidement les données offre des possibilités énormes aux chercheurs qui ont besoin de mesures très précises d'efforts de traction, de puissance et de travail. Les ordinateurs permettent d'enregistrer d'une manière précise et rapide la plupart des paramètres influant sur la force de traction et les rendements, mais ils ne sont pas vraiment indispensables pour la recherche dans ce domaine. Les systèmes informatiques sont plutôt chers à l'achat, en outre, et ceci est le plus important, leur emploi nécessite un investissement énorme en temps de travail et en formation spécialisée, afin qu'ils soient efficaces et qu'ils puissent analyser de grandes quantités de données. Les projets de développement de petite envergure peuvent estimer que ce temps et cet argent seraient mieux employés si les mesures de forces et de puissance étaient effectuées avec des instruments plus simples, ce qui permettrait de consacrer plus de temps à étudier les paramètres des systèmes de production locaux. On peut faire un parallèle avec les enquêtes socio-économiques: en effet, les «estimations rapides en milieu rural» peuvent fournir des informations intéressantes beaucoup plus rapidement et à moindre frais que des enquêtes détaillées qui impliquent la collecte d'énormes quantités de données et leur analyse.

Sous réserve de ces précautions, il est évident que le traitement de données peut être un outil de recherche extrêmement puissant,

et il semble particulièrement intéressant, pour les chercheurs menant des travaux détaillés sur les efforts de traction et les rendements, de prendre contact avec les organismes compétents dans ce domaine très spécialisé. Il leur sera alors possible d'examiner les diverses options techniques ou protocoles de recherche possibles. Plusieurs des organismes travaillant dans ce domaine sont très ouverts à toute coopération et certains peuvent financer des programmes de recherche associés.

10.6 Autres sources d'informations

L'AFRC Engineering (Royaume-Uni) s'est longuement consacré au développement des systèmes d'enregistrement des forces de traction et des rendements. Le système mis au point par l'AFRC (cf. Fig. 10-4 et 10-5) a été cité dans de nombreux articles: KEMP (1985), O'NEILL, HOWELL, PAICE et KEMP (1987), O'NEILL et KEMP (1988), HOWELL et PAICE (1988), et KEMP (1989). Plusieurs organismes ont mené des essais expérimentaux à l'aide des systèmes AFRC Engineering: le CIPEA en Ethiopie; le CIAE, en Inde et le CTVM, en Ecosse. Tous ces organismes ont acquis une expérience considérable dans l'application de cette technologie pourtant récente. En France, le CEEMAT a mis au point sa propre «chaîne de mesures», utilisable pour la traction animale ainsi que pour la motorisation.

En Ecosse, le CTVM a développé son propre système de collecte de données, «l'ergomètre», pour la mesure du travail, de la force de traction, de la distance parcourue et du temps de travail réel. Ce dispositif a été employé lors d'essais au Bengladesh, au Costa Rica (Fig. 10-9), et en Ethiopie. Le projet ACIAR Draft Animal Power, l'a également employé en Australie. Un système plus sophistiqué a été développé pour permettre la mesure de trois paramètres supplémentaires (température du corps, rythme respiratoire et rythme cardiaque) en plus des données concernant le travail. Cet appareil a fait ses preuves au cours d'essais conduits au Népal (Fig. 10-6; PEARSON *et al.*, 1989). Au CTVM, on a équipé des moulins et des manèges circulaires d'appareils pour l'analyse des gaz permettant des mesures détaillées de la consommation d'énergie sur des animaux au travail ou au repos (Fig. 10-10; 10-11).

L'Université de HOHENHEIM (Allemagne) collabore avec le Centre Sahélien de l'ICRISAT au Niger pour une étude sur les possibilités de la traction animale. Au cours de ce travail, on a utilisé une piste d'essais et un traîneau pour mesurer les puissances moyennes et maximum de bœufs attelés, seuls ou en paires, de chevaux et d'ânes (BETKER et KLAIJ, 1988).

En Afrique, plusieurs organismes mènent des recherches sur la mesure des efforts de traction et du travail; ce sont: le FMDU (Botswana), le CIPEA et l'IAR à Nazareth (Ethiopie), le Projet Arido-Culture de l'INRA-NIAC (Maroc), le Centre Sahélien de l'ICRISAT et le Projet FAO (Niger), et l'ADPRDP (Zambie). Les adresses de ces organismes, et d'autres travaillant dans ce domaine, sont citées dans l'Annuaire du GATE sur la Traction Animale pour l'Afrique (STARKEY, 1988).