

CHAPITRE II

Mesure du Travail, Dynamométrie

D'une manière générale, la mesure des utilités fournies rentre dans le programme de la Zootechnie; lorsqu'il s'agit de produits concrets, la mensuration est facile : tels le rendement d'un animal de boucherie, le poids d'une toison, la quantité de lait donnée par une femelle laitière. La mesure du travail, quoique plus difficile que les précédentes, parce qu'elle est obtenue par des moyens indirects, est cependant déterminable avec une exactitude suffisante pour la pratique de l'utilisation et de l'alimentation rationnelles des moteurs.

Plusieurs facteurs influent sur le *débit kilogrammétrique* total d'un moteur : ce sont le *travail automoteur*, le *démarrage* et le *coefficient de tirage*. Ils doivent être examinés avant le calcul du travail utile.

A. — Travail automoteur

Afin de pouvoir assurer la production du travail utile qui leur est demandé, les moteurs sont obligés à une dépense d'énergie destinée à leur propre transport. Cette dépense a reçu le nom de *travail automoteur*; impossible à éviter, elle peut devenir très onéreuse, ainsi que le montre l'analyse suivante des circonstances qui la déterminent :

a. — Le travail automoteur varie avec le *poids* de l'animal. Les gros dépensent plus que les petits;

l'augmentation du format d'un moteur adapte celui-ci au déplacement de lourds fardeaux, mais elle rend son exploitation très coûteuse, car le travail de transport absorbe une importante fraction de l'énergie potentielle apportée par la ration.

A propos de l'influence de la masse, il faut distinguer le travail occasionné par le déplacement du poids corporel de celui correspondant à une surcharge quelconque. Dans ce dernier cas, la dépense est notablement plus grande; une bête de somme de 400 kilos portant 100 kilos à dos effectue une dépense énergétique supérieure à celle d'un cheval de 500 kilos qui marche à vide.

b. — Le travail automoteur varie avec les *proportions* de l'animal qui influent sur la position du centre de gravité du corps et par suite sur l'intensité des déplacements de celui-ci.

c. — Mais les variations les plus étendues sont, pour un même sujet, fonctions de la *vitesse* et de la *forme de l'allure*.

SANSON a estimé le travail automoteur au dixième du poids du corps à l'allure du pas et au double de cette fraction pour les allures du trot et du galop.

D'après ses recherches, le travail automoteur A fourni par un cheval de poids P est représenté par les formules suivantes :

$$\text{au pas, } A = \frac{5}{100} P.$$

$$\text{au trot, } A' = \frac{10}{100} P.$$

(Le travail automoteur est exprimé ici en *kilogrammètres*, le poids étant donné en *kilogrammes*.)

L'influence de la vitesse est certainement très marquée et reconnue depuis longtemps. Dans leurs

recherches sur l'équivalent mécanique de la protéine, MOREAU-CHASLON, HERVÉ-MANGON et BAILLET ont déterminé avec les chevaux travaillant au trot un chiffre de beaucoup supérieur à celui exigé pour le pas; les deux nombres sont entre eux comme 1 : 2,56. Voici les chiffres auxquels il vient d'être fait allusion :

QUANTITÉ DE PROTÉINE NÉCESSAIRE POUR 1.000 KILOGRAMMÈTRES

	Au pas	Au trot
De Gasparin . . .	0 gr. 525	—
Moreau-Chaslon . .	—	1 gr. 543
Hervé-Mangon . . .	0 544	1 200
Baillet	0 538	1 372
Chiffres moyens.	0 gr. 535	1 gr. 371

Une dépense encore plus grande est constatée avec des allures telles que le trot allongé et le galop, qui comportent des déplacements horizontaux et verticaux du centre de gravité, ces derniers étant les plus onéreux.

Aussi, en tenant pour exact que le travail automobile devient double et même quelque peu supérieur en passant du pas au trot raccourci, doit-on admettre qu'il croît rapidement avec le trot ordinaire et le trot allongé. BARON pense qu'il grandit avec le *carré de la vitesse*; lorsque celle-ci devient double, il est quatre fois plus fort. Avec le galop, la dépense est tellement élevée que le moteur ne dispose plus que d'une faible quantité d'énergie pour son travail utile. Toute allure très rapide ne peut être soutenue que pendant un temps très court, comparativement à la durée d'un travail au trot ordinaire

et surtout au pas. Bien que nous ne puissions fournir les données d'un calcul précis, il est acquis que la vitesse est dispendieuse au point de vue énergétique, sans préjudice de ses autres effets sur l'usure rapide du mécanisme de la machine animale.

Ces diverses causes de variation du travail de transport démontrent que les gros chevaux sont inutilisables aux allures vives; le potentiel qu'ils ont accumulé suffit tout juste à leur propre déplacement; si, néanmoins, on les pousse pour en obtenir quand même de la vitesse, ces moteurs s'épuisent et se ruinent prématurément.

Avec les moteurs chez lesquels le format n'est plus un obstacle à la vitesse, la dépense de transport n'en est pas moins liée à cette dernière dans une mesure fort étroite, et son accroissement suit une progression très rapide.

La conclusion est celle-ci : le rendement industriel des moteurs varie en raison inverse de leur vitesse d'utilisation.

B. — Le Démarrage

BARON a montré (1) que le travail total du démarrage d'un véhicule se décompose en quatre termes :

- 1^o travail destiné à vaincre la déformation des roues;
- 2^o travail destiné à vaincre la déformation du sol;
- 3^o travail destiné à vaincre les résistances au roulement;
- 4^o travail accélérateur communiquant au véhicule sa vitesse définitive.

(1) Cours autographié et Traité de Zootechnie générale de CORNEVIN, chapitre Production du travail.

Le déplacement du fardeau sur la route ne représente que la dernière phase de cette opération complexe; l'effort considérable demandé au moteur a servi tout d'abord à effacer les résistances représentées par les trois premiers termes; chacun sait que cela nécessite des contractions musculaires d'autant plus puissantes que, la charge étant plus pesante, ces trois sortes de résistances sont plus élevées.

C. — Coefficient de tirage

Lorsque le travail accélérateur a permis au véhicule d'acquies sa vitesse normale dite *vitesse de régime* et de la maintenir, il doit lutter contre les résistances passives qui sont la conséquence de la nature du sol et des inégalités de sa surface. Ces résistances sont exprimées par un nombre, le *coefficient de tirage*, qui est le rapport entre l'effort à épaules déployé par le moteur et le poids total du fardeau déplacé.

Ce coefficient varie avec la nature du terrain sur lequel se meut le véhicule; très élevé dans les sols meubles et dépressibles, il est notablement réduit sur les sols durs, secs, résistants, qui ne subissent qu'une déformation peu sensible.

Il est calculé après la détermination expérimentale de deux éléments : le poids (P) du fardeau, et l'effort à épaules (E) du moteur, mesuré en kilogrammes par un dynamomètre interposé dans l'appareil de traction.

Soit une charge de 2.000 kilos, ayant nécessité un effort à collier de 60 kilos. Le coefficient de tirage de la route sera :

$$C = \frac{60}{2.000} = 0,03.$$

Des tables spéciales ont été dressées pour les principales catégories de voies de transport; leurs données sont comparables avec une même sorte de véhicule; car on sait que la construction de celui-ci, la hauteur des roues, le diamètre des moyeux, la largeur des jantes, sont autant de causes de variation de son tirage. Les perfectionnements de la carrosserie et du montage des roues, le graissage des essieux, etc., rendent les voitures plus roulantes et leur traction moins pénible. A égalité de rendement du véhicule, la route garde une influence dont les extraits ci-dessous donnent la mesure.

COEFFICIENTS DE TIRAGE DES VOITURES, AU PAS
(d'après CREVAT).

Chemin de fer . . .	0,005				
Pavé en grès {	bon état, sec.	0,010	Chemin rural solide {	bon, petites ornières . .	0,04
	mouillé,			ordinaire, ornières inégales . . .	0,05
	boueux . . .	0,015		mauvais. . .	0,06
Route en pierre-ment {	Solide et sèche . . .	0,02	Chemin sur le sable . . 0,12		
em- pierra- ment {	ordinaire . . .	0,03	Chaussée de froment {	sec	0,10
	mauvaise			mouillé . . .	0,20
	avec boue . . .	0,04	Terre labourée {	sèche	0,30
				mouillée. . .	0,40

**Valeur de la résistance à la traction dans les
différents terrains**

(d'après les expériences du général MORIN) (1)

NATURE DU TERRAIN	RAPPORT de la résistance au poids de la voiture.
Pavé en grès de Sierck serré	0,012
— ordinaire boueux	0,017
Route en très bon état	0,020
— boueuse avec ornières	0,035
— très dégradée	0,054
— neuve ou rechargée	0,092
Sable fin et sec	0,095
Sol de polygone détrempé	0,080
Autres chiffres (d'après MACHART)	
Terrain ordinaire crayeux	0,080
Terrain argileux non battu	0,120
— marécageux voisin de la limite à laquelle les chevaux cessent de pou- voir circuler	0,200

Les coefficients donnés par les tables sont ceux des routes horizontales, en palier. *L'influence de la pente* intervient pour les augmenter ou les réduire. *A la montée*, le tirage total est égal au coefficient

(1) Cité par P. MACHART, chef d'escadron d'artillerie, dans *Chevaux et Voitures d'artillerie*, Berger-Levrault, 1913.

de la route augmenté de l'angle de pente exprimé en centimètres par mètre.

A la descente, le tirage est diminué de cet angle de pente.

La formule générale est celle-ci :

$$K = C \pm C'$$

dans laquelle

K = tirage sur la pente,¹

C = coefficient de la route en palier,

C' = inclinaison exprimée en centimètres par mètre.

Lorsque, dans une descente, C' = C ou est plus grand que C, il est indispensable de créer par le freinage une résistance artificielle qui donne une valeur positive à K.

D. — Calcul du Débit kilogrammétrique

Le travail d'un moteur animé, comme celui de toute machine, s'exprime en *kilogrammètres*. Le débit kilogrammétrique n'est donc autre chose que la quantité de travail produite pendant un temps déterminé.

Deux cas sont à distinguer suivant le mode d'utilisation de l'animal, qui est un *tractionneur* agissant sur son fardeau par une pression au collier ou au joug, ou bien un *porteur*, une bête de somme chargée à dos.

Tractionneurs

Le travail journalier total d'un moteur est donné par l'expression :

$$T = P \times C \times L$$

Le même cheval *travaillant au pas* prendra une vitesse moyenne égale aux trois quarts de la précédente, soit $\frac{3}{4} H$.

Exemple : un cheval de 1 m. 60 de taille ira au pas avec une vitesse de 1 m. 20 à la seconde.

La *vitesse moyenne du trot ordinaire* est double de celle du pas. Son expression générale est donc $\frac{3}{2} H$, et dans l'exemple adopté, elle devient égale à 2 m. 40 par seconde.

Pour le *galop ordinaire*, la vitesse serait le triple de celle du pas, soit $\frac{9}{4} H$; mais cette vitesse est fréquemment dépassée et atteint 4, 5, 6, 7 fois et plus la hauteur au garrot (galop de course).

2° **Effort à épaules.** — BARON a déterminé l'effort que fait un moteur sur le collier ou la bricole par les formules suivantes :

Le cheval qui va au pas peut faire à épaules un effort en kilogrammes égal à :

$$\frac{30 C^2}{H}$$

C = tour de poitrine derrière les épaules;

H = hauteur au garrot.

Au trot ordinaire, l'effort devient moitié moindre et est donné par

$$\frac{15 C^2}{H}$$

Dans le galop très rapide ($V = 3 H$), l'effort tombe à

$$\frac{7 C^2}{H}$$

dans laquelle :

T = le nombre de kilogrammètres cherché,

P = le poids en kilogrammes du véhicule déplacé,

C = le coefficient de tirage de la route,

L = le trajet parcouru en mètres.

(P × C) mesure l'effort à épaules.

Soit un fardeau de 1.800 kilogrammes, traîné sur une route ordinaire (coefficient de tirage = 0,03) pendant 20 kilomètres; le travail effectué est de :

$$1.800 \times 0,03 \times 20.000 = 1.080.000 \text{ kgm.}$$

Mais il ne suffit pas de pouvoir calculer le travail total d'un moteur sur un trajet quelconque; il faut arriver à connaître la quantité de travail dont ce moteur dispose pour en apprécier la valeur individuelle et le rapporter à d'autres plus ou moins différents de lui. Cette commune mesure, par laquelle le rendement d'un moteur animé est utilement comparé soit à d'autres moteurs, soit à des machines brutes, est le débit kilogrammétrique *à la seconde*. Les deux éléments de sa détermination sont la *vitesse de l'allure* exprimée en mètres par seconde et l'*effort* exprimé en kilogrammes.

1° **Vitesse de l'allure.** — On peut dire, d'une façon générale et sans tenir compte de facteurs contingents d'importance moindre, que la vitesse varie avec la taille du moteur, élément dans lequel entre pour la plus forte part l'élévation des membres antérieurs destinés à entamer le terrain et qui change, par suite de la forme de la poitrine et de celle du garrot, avec les proportions générales du sujet.

On estime qu'un cheval qui marche librement, exempt de toute charge à dos ou à épaules, fait, à la seconde, sa hauteur au garrot (H).

Avec un pas très ralenti ($V = \frac{3}{8} H$) il peut s'élever à

$$\frac{60 C^2}{H}$$

L'effort d'un moteur dépend de la puissance des muscles, laquelle varie avec le nombre des fibres, c'est-à-dire avec les surfaces de section.

Or, nous trouvons dans la mensuration du tour de poitrine un élément qui, élevé au carré, enregistre assez fidèlement les variations de la surface corporelle et nous donne sensiblement aussi l'expression des variations de la *surface* de section des muscles.

La *vitesse* dépend au contraire des éléments longitudinaux; les muscles à fibres longues ont un raccourcissement plus grand; le déplacement de leur extrémité est plus considérable.

Dans l'organisme bâti pour la production d'efforts puissants, C^2 augmente tandis que H diminue, ce qui porte l'effort à son maximum d'intensité.

Dans l'organisme bâti pour la production de la vitesse, H augmente pendant que C^2 diminue, ce qui porte l'effort à son minimum.

D'après les données pratiques de J. CREVAT et les calculs de BARON, le rapport $\frac{C^2}{H} = 2,1125$ pour les animaux de proportions moyennes propres à combiner favorablement la force et la vitesse.

Pour $\frac{C^2}{H}$ plus grand que 2,1125, on a l'animal de force.

Pour $\frac{C^2}{H}$ plus petit que 2,1125, on a l'animal de vitesse.

Mais cette dernière considération n'est pas nécessaire au calcul du débit kilogrammétrique à la seconde, pour lequel tous les éléments sont maintenant réunis.

Débit kilogrammétrique à la seconde. — Le débit à la seconde (D'') résulte du produit d'un certain effort en kilogrammes et d'une certaine vitesse à la seconde, en mètres.

$$D'' = E \times V$$

Ces éléments étant connus, nous aurons :

Pour le pas :

$$D'' = \frac{30 C^2}{H} \times \frac{3}{4} H.$$

Pour le trot :

$$D'' = \frac{15 C^2}{H} \times \frac{3}{2} H.$$

Où, dans les deux cas, en réduisant :

$$D'' = 22,50 C^2.$$

Cette formule montre que le débit kilogrammétrique n'est pas proportionnel au poids, mais au carré du périmètre thoracique. Un gros cheval de 1.000 kilogrammes ne peut pas fournir un effort égal à celui de deux chevaux de 500 kilos; car ces deux derniers pris ensemble possèdent une surface plus grande de sections musculaires transversales.

Application au cheval de trait. — Pour l'application pratique de la formule au cheval de trait, il convient de faire remarquer que le nombre 22,50 donne des résultats un peu forts et qu'en l'abaissant à 22,11 on obtient des rendements plus exacts.

Cette formule $D'' = 22,11 C^2$, appliquée au cheval de 500 kilos dont le périmètre thoracique est en moyenne de 1 m. 84, nous donne :

$$D'' = 22,11 \times 1,84 \times 1,84 = 74 \text{ kmg. } 73.$$

C'est-à-dire un débit sensiblement égal à un cheval-vapeur.

Le cheval de 500 kilos, bien choisi, sain de membres et suffisamment alimenté, débite à la seconde un cheval-vapeur. C'est en même temps celui pour lequel se vérifie la relation $\frac{C^2}{H} = 2,1125$, puisque $C = 1 \text{ m. } 84$, $C^2 = 3,38$ et $H = 1 \text{ m. } 60$ pour les sujets de proportions moyennes ($1,60 \times 2,1125 = 3,38$).

Aussi ce type de moteur est-il employé toutes les fois que l'on veut obtenir un fort débit kilogrammétrique en combinant le plus favorablement la force et la vitesse.

C'est le moteur qui peut travailler au pas, pendant 8 heures, en donnant un cheval-vapeur par seconde, et celui qui peut le mieux travailler au trot ordinaire ($V = \frac{3}{2} H = 2 \text{ m. } 40$), pendant quatre heures par jour, en débitant encore un cheval-vapeur par seconde.

C'est le moteur de trait semi-gros et semi-rapide, l'ancien cheval de diligence, le cheval d'omnibus et de tramway; c'est le modèle réalisé par le percheron. C'est enfin celui dont les conditions d'utilisation sont le mieux déterminées en raison de cette situation particulièrement favorable.

Avant de pousser plus loin la discussion de ces formules, il est bon d'en faire remarquer le caractère semi-théorique et semi-pratique; elles procèdent en effet de l'interprétation aussi précise que possible

des faits enseignés par la pratique et sont, de par cela, susceptibles d'un certain aléa; néanmoins, elles constituent une base précieuse pour l'estimation des moteurs, et si les coefficients employés sont passibles de modifications par suite de recherches nouvelles, la forme générale devra en être conservée; l'expression $\frac{C^2}{H}$ en est l'élément fondamental.

En prenant toujours le cas du cheval de 500 kilos, ayant une taille de 1 m. 60, la formule :

$$D'' = \frac{30 C^2}{H} \times \frac{3}{4} H = \frac{15 C^2}{H} \times \frac{3}{2} H$$

nous enseigne que ce cheval travaillant au pas, à la vitesse de 1 m. 20 par seconde, fera à épaules un effort de 62 kg. 50 environ; travaillant au trot, à la vitesse de 2 m. 40 par seconde, un effort de 31 kg. 25.

Dans le premier cas, sur une route ordinaire ($C = 0,03$), il pourra traîner pendant huit heures un fardeau de 2.000 kilos environ (exactement $\frac{E}{C} = \frac{62,50}{0,03} = 2.083$ kilogrammes).

Dans le second cas, sur la même route, la charge tombera à 1.000 kilogrammes, et cela pendant quatre heures seulement ($\frac{E}{C} = \frac{31,25}{0,03} = 1.041$ kilogrammes).

Au lieu d'envisager purement et simplement le débit à la seconde, si nous cherchons comment ce débit est obtenu, nous trouvons qu'il peut l'être d'une foule de façons différentes, par suite de combinaisons multiples d'efforts et de vitesses. Mais toutes ne sont pas également avantageuses; il en est d'infinitement préférables à d'autres. Les combinaisons défectueuses qui tendent à réduire la durée de la carrière du moteur en précipitant son usure organique

sont celles qui tiennent au surmenage de l'effort à une allure très lente, ou au surmenage de la vitesse avec un effort cependant insensible. Les meilleures conditions d'utilisation des moteurs, les conditions *optima* donnant le rendement *maximum*, sont représentées en définitive dans les deux formules :

$$D'' = \frac{30 C^2}{H} \times \frac{3}{4} H, \text{ pour le pas.}$$

$$D'' = \frac{15 C^2}{H} \times \frac{3}{2} H, \text{ pour le trot.}$$

Toute autre combinaison sera mauvaise, physiologiquement et zootechniquement; elle ne pourra être acceptée dans la pratique que si la vitesse supplémentaire que fournit le moteur est payée assez cher ou si l'effort considérable qui est exigé est rigoureusement imposé par la nature spéciale du mode d'utilisation (chevaux et gros mulets employés au débardage sur des quais très encombrés ne permettant pas d'attacher en file plusieurs animaux; démarrage des wagons, etc.).

Durée du travail journalier. — Le moteur vivant n'est pas comparable à une machine industrielle fournissant le même nombre de chevaux-vapeur, attendu que cette machine peut marcher sans interruption vingt-quatre heures par jour, tandis que le moteur animé ne peut débiter ses kilogrammètres que pendant un temps limité. L'animal est soumis à une exploitation intermittente exigeant des temps de repos, faute desquels il se détériore avec une extrême rapidité.

La durée effective du travail quotidien est influencée par la *vitesse de l'allure* et l'*intensité de l'effort*.

a). — Le cheval qui travaille *au pas* peut être attelé pendant deux périodes de quatre heures chacune, séparées par un repos convenable, soit *huit heures* par jour.

Le même cheval travaillant *au trot* ne peut rester en service journalier que pendant un temps moitié moindre, c'est-à-dire *quatre heures*, sous la condition expresse que le trot ne soit point trop rapide ou l'effort trop considérable. L'augmentation du travail automoteur est le facteur essentiel de cette réduction de la durée.

b). — Si nous supposons, d'autre part, un moteur lourdement chargé, obligé de marcher à une allure très lente, la durée de son travail ne sera pas augmentée, car « le surmenage de l'effort épuise autant que le surmenage de la vitesse » (BARON). Le cheval ne pourra pas être attelé plus de huit heures par jour; la continuité d'un violent effort à épaules et la contrainte imposée par l'abaissement de l'allure au-dessous de la vitesse normale provoquent un excès de fatigue nécessitant une période de repos prolongée.

Les variations de la vitesse et de l'effort retentissent sur la durée de la carrière économique du moteur. C'est *au pas* que l'animal travaille chaque jour le plus longtemps et fournit la plus longue carrière.

Les *services rapides*, quoique répondant à un emploi journalier de peu de durée, assignent une courte carrière économique. La diminution de celle-ci est encore précipitée lorsqu'un effort pénible et prolongé est associé à une allure accélérée. Les deux causes du surmenage sont réunies; bien que ce cas s'observe assez fréquemment dans la pratique, il est absolument en dehors des règles de l'utilisation rationnelle des moteurs animés.

Les combinaisons les meilleures, fournissant le rendement mécanique maximum et permettant la conservation du moteur pendant un temps assez long pour que sa *prime d'amortissement* soit minimum, sont représentées par les formules de vitesse et d'effort à épaules déterminées plus haut pour le pas et le trot ordinaire. Ces formules apportent une nouvelle expression de l'*optimum* déjà rencontré dans les autres productions. Elles se traduisent, en dernière analyse, par cette règle très générale, que le meilleur emploi des forces motrices des animaux est obtenu par une utilisation en un temps aussi long que possible, coupé par de fréquents intervalles de repos.

Débit kilogrammétrique journalier d'un cheval de gros trait. — Les données qui viennent d'être exposées permettent de calculer le débit kilogrammétrique journalier d'un cheval de trait travaillant au pas.

La durée du travail étant de huit heures, ou 28.800 secondes, il est facile d'établir l'expression suivante :

$$T_j = 22,11 C^2 \times 28.800$$

qui donne, pour un cheval de 500 kilos mesurant un tour de poitrine de 1 m. 84 :

$$\begin{aligned} T_j &= 22,11 \times 1,84 \times 1,84 \times 28.800 = \\ &= 2.152.224 \text{ kilogrammètres.} \\ &= 2.150.000 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad \text{environ.} \end{aligned}$$

Les observations anciennes de NAVIER, qui font autorité et ont été reproduites par de nombreux auteurs, donnent, pour un cheval marchant à 0 m. 90 par seconde pendant 10 heures et exerçant un effort moyen de 70 kilos, un débit kilogrammétrique de 2.268.000 kgm.

D'après les données précédentes, un cheval allant à une vitesse un peu plus grande (1,20) tout en restant celle du pas, avec un effort de 62 k. 500 et une durée de 8 heures a un débit de 2.160.000 kgm.

En comparant ce résultat à celui obtenu par NAVIER, on constate facilement la compensation qui s'établit du fait de la diminution de la vitesse et de l'augmentation de l'effort à épaules.

Influence de la valeur individuelle des moteurs.

— M. LAVALARD (1) a publié le tableau suivant, qui résume les chiffres donnés par plusieurs expérimentateurs pour l'évaluation du travail utile d'un cheval attelé au pas.

TRAVAIL JOURNALIER D'UN CHEVAL ATTELÉ AU PAS

D'après Navier	2.268.000 kgm.
— Courtois	2.568.000 —
— Général Morin	2.268.000 —
— Poncelet	2.592.000 —
— Ruhlmann	2.362.000 —
— Sanson	2.992.000 —

WATT a indiqué 2.188.000 kgm. pour un fort cheval de trait. C'est ce chiffre qui lui a servi de point de départ pour la détermination de la valeur du cheval-vapeur (75 kgm. par seconde); et nous avons vu dans les pages précédentes que ce débit est précisément celui d'un cheval de 500 kilos placé dans les conditions les plus favorables pour la production de son effort maximum.

Les résultats puisés à des sources diverses sont donc assez concordants; mais il est utile de faire

(1) *Le Cheval*. Encyclopédie MUNTZ et GIRARD. Chez Firmin-Didot.

remarquer que ce sont des maxima répondant à des animaux parfaits ou de format élevé. (Le chiffre de COURTOIS correspond au travail d'un cheval de 700 kilos). Dans les conditions ordinaires de la pratique, avec des moteurs d'âge et de qualité variables soumis à des circonstances d'exploitation également variables (alimentation, conduite, entretien des véhicules, état des routes, etc.), la moyenne du rendement est moins élevée. Un grand nombre d'observations du général MORIN sur les chevaux de roulage permettraient de conclure à une moyenne de 1.800.000 kgm. D'autres expérimentateurs sont arrivés aux résultats suivants (1) :

Wood . . .	1.642.000 kgm.	
Tredgold . .	1.789.856	—
Ch. Dupin . .	1.872.000	—
Guényveau .	1.500.000	—
Courtois . .	1.834.560	— (cheval de 500 kilos).

La formule du débit kilogrammétrique à la seconde établie par BARON est calculée pour des moteurs bien choisis, parfaitement alimentés, et par conséquent capables de fournir le maximum d'effet utile.

Pour le calcul du débit de chaque individu pris dans les conditions de son utilisation ordinaire et de ses qualités propres, il faut faire intervenir un élément de correction qui est le nombre obtenu hors de l'appréciation de l'animal par le pointage.

La formule donne le débit d'animaux parfaits répondant au maximum du pointage, c'est-à-dire à 100 points; un sujet qui aura reçu n points fournira un débit de

$$D'' = 22,11 \times C^2 \times \frac{n}{100}$$

(1) D'après MACHART : *Chevaux et Voitures d'artillerie*, 1913.

Prenons par exemple un cheval de gros trait lent, mesurant 2 m. 10 de poitrine (poids vif 700 kilos environ), et ayant une valeur individuelle de 74 points; son débit sera de

$$D'' = 22,11 \times 2,10 \times 2,10 \times 0,74 = 73 \text{ kgm. } 15.$$

Débit kilogrammétrique du bœuf de travail. —

RINGELMANN a recherché dans de nombreuses expériences effectuées à l'occasion des concours de bœufs de travail des races limousine et d'Aubrac, le travail utile de ces animaux en fonction de l'effort maximum déployé en kilogrammes et de la vitesse en mètres par seconde (1).

Avec la race limousine, il a obtenu les chiffres suivants pour un temps utile de travail de 45 minutes par heure :

	PAIRES DE BŒUFS	
	N'ayant pas toutes leurs dents de remplacement	Ayant toutes leurs dents de remplacement
Effort moyen développé en kilogrammes . .	150 kg. à 215 kg.	235 kg. à 321 kg.
Vitesse moyenne en mètres par seconde. . . .	0 ^m ,36 à 0 ^m ,62	0 ^m ,35 à 0 ^m ,60

(1) Société nationale d'agriculture (*Bulletin des Séances*, années 1905 et 1907).

La plus forte paire de bœufs (quatre ans et demi), pesant 1.380 kilos, était capable de fournir, en travail normal, un effort moyen de 317 kilos à une vitesse moyenne de 0 m. 60 par seconde, soit une puissance mécanique utilisable de plus de 190 kilogrammètres par seconde, ou un peu plus de deux chevaux-vapeur et demi.

Dans cette observation, le poids moyen de chaque bœuf est de $\frac{1.380}{2} = 690$ kilos, correspondant à un périmètre thoracique oscillant au voisinage de 2 m. 06 (1). L'application de la formule $D'' = 22,50 C^2$ donne :

$$D'' = 22,50 \times 2,06 \times 2,06 = 95 \text{ kgm. } 40$$

pour un bœuf, et pour la paire :

$$95,4 \times 2 = 190 \text{ kgm. } 80$$

rendement tout à fait voisin du résultat de RINGELMANN.

Malgré cette coïncidence intéressante, la formule du débit kilogrammétrique ne peut être employée à coup sûr, car elle n'aboutit pas toujours à des résultats aussi parfaits. En traitant comme dans l'exemple ci-dessus les chiffres fournis par les expériences dynamométriques de RINGELMANN, nous avons

(1) Cette mensuration n'ayant pas été prise sur les animaux qui ont servi aux essais, nous ne pouvons la déterminer qu'avec approximation en nous servant de la formule de CREVAT : $P = 80 C^2$.

Le périmètre ainsi calculé ne peut évidemment être tenu pour exact; cependant il oscille autour du périmètre vrai dans des limites assez étroites pour que les calculs suivants restent justifiés.

obtenu constamment un rendement supérieur au rendement réel. Cette constatation autorise la remarque suivante :

La formule répond au débit d'animaux possédant la perfection zootechnique; elle doit donc être multipliée par le nombre exprimant, en centièmes, la valeur individuelle des sujets examinés. Par ce correctif, et en attribuant aux bœufs présentés dans les concours une valeur de 75 points à 80 points, c'est-à-dire en les classant dans la bonne catégorie moyenne, nous sommes arrivés à des concordances assez nombreuses dont voici un exemple.

Dans les expériences portant sur la race d'Aubrac, une paire de bœufs de trois ans et de trois ans et demi pesant 1.120 kilogrammes était capable de fournir, en travail normal, un effort moyen de 197 kilogrammes, à une vitesse moyenne de 0 m. 65, soit une puissance mécanique utilisable de 128 kilogrammètres par seconde.

Le poids moyen de chaque bœuf est ici de $\frac{1.120}{2} = 560$ kilos, répondant à un périmètre thoracique calculé de 1 m. 90. Le débit réel de chaque animal est de $\frac{128}{2} = 64$ kgm.

La formule $D'' = 22,50 C^2$ donne :

$$D'' = 22,5 \times 1,90 \times 1,90 = 81 \text{ kgm.}$$

Si l'on admet que l'appréciation individuelle d'un bœuf de bonne conformation convenablement dressé conduise à un pointage de 80, ce rendement devient très voisin du résultat expérimental :

$$81 \times 0,80 = 64 \text{ kgm. } 8.$$

Ces essais de vérification n'ont pas d'autre but que de montrer la difficulté d'établir une formule

générale du rendement des moteurs animés en fonction d'un élément corporel. Nous pensons que le périmètre thoracique, qui donne des résultats intéressants chez le cheval, doit être également adopté chez le bœuf, sous réserve de modifier les coefficients qui entrent avec lui dans les formules. L'extension des recherches expérimentales inaugurées par RINGELMANN aidera puissamment à résoudre ce problème de dynamométrie générale.

Porteurs. — Animaux de bât et de selle

La surcharge artificielle due à un fardeau placé sur le dos de l'animal occasionne un travail qui est de la même nature que le travail automoteur, mais qui ne se confond pas avec lui. Un porteur de 700 kilos de poids vif effectue en se déplaçant à vide un travail moindre qu'un animal de 500 kilos portant 200 kilos de surcharge.

BARON a déterminé, pour le calcul de la *charge optima* des bêtes de somme, des formules établies sur les données générales servant au calcul de l'effort des tractionneurs :

Au pas, avec une vitesse de $\frac{3}{4}$ H, la charge à dos est égale à

$$\frac{95 C^2}{H}$$

Pour le service au trot, vitesse $\frac{3}{2}$ H, la charge tombe à

$$\frac{56 C^2}{H}$$

Un cheval de 500 kilos, mesurant en moyenne

1 m. 60 de taille et 1 m. 84 de tour de poitrine, peut porter à dos :

$$\text{au pas : } \frac{95 \times 1,84 \times 1,84}{1,60} = 202 \text{ kilos.}$$

$$\text{au trot : } \frac{56 \times 1,84 \times 1,84}{1,60} = 120 \text{ kilos.}$$

Ces résultats nous apprennent que, dans des conditions comparables de vitesse et de durée du travail journalier, le porteur a une capacité de déplacement très inférieure à celle du tractionneur.