

DÉVELOPPEMENT ANATOMIQUE DU MUSCLE DE FŒTUS BOVIN. ÉTUDE PARTICULIÈRE DE L'EFFET « CULARD »

M. ANSAY

avec la collaboration technique de E. LAURENT, J. ROUPAIN
et V. BALDEWIJNS-ROUMA

*Faculté de Médecine vétérinaire,
Université de Liège,
45, rue des Vétérinaires,
1070 Bruxelles*

RÉSUMÉ

Quatre-vingt-six fœtus (de 5 mois à la naissance; 47 mâles, 39 femelles; 65 normaux, 21 culards) ont été disséqués. L'ensemble des muscles disséqués représente 75 p. 100 de la musculature totale. Si les membres ont été complètement décharnés, par contre, seuls les plus gros muscles ont été prélevés sur le cou, le dos et le thorax. A une longueur totale donnée, les animaux culards ont de 26 à 63,8 p. 100 de muscles totaux en plus.

Ces muscles ont été regroupés en 7 régions dont on a comparé la vitesse de croissance en calculant pour chacune le coefficient d'allométrie b (équation $y = ax^b$ où x = poids total des muscles disséqués).

1. L'épaule, le dos présentent pour l'ensemble des catégories d'animaux une vitesse de croissance quasi constante pendant la période considérée. Par contre, l'avant-bras, la croupe-cuisse, les jambes d'une part, les côtes et le cou d'autre part, sont caractérisés par une allométrie majorante pour le premier groupe, minorante pour le second. A un gradient céphalo-caudal (le long du rachis) se superpose un gradient proximodistal (le long des membres).

2. Chez les mâles (culards et normaux), la part prise par la région croupe-cuisse augmente plus vite que chez la femelle. Au contraire, chez les mâles normaux, la vitesse de croissance des muscles du cou est nettement plus lente que chez les femelles.

3. Il n'y a entre culards et normaux et cela dans les deux sexes, aucune différence dans la vitesse de développement de chacune de ces 7 régions. Cependant, des différences culards-normaux apparaissent au niveau de la proportion relative des diverses régions. Ainsi chez les mâles et à tous les poids considérés, les animaux culards ont significativement moins de muscles dans les régions de l'avant-bras, de la jambe et du dos et plus de muscles dans la région du cou et de la cage thoracique.

Après la naissance, comparant nos résultats avec ceux de BUTTERFIELD, ROBELIN *et al.*, on constate que certains coefficients allométriques s'inversent. Par exemple, après la naissance, l'allométrie devient majorante pour le cou, minorante pour les extrémités distales des membres. De même chez les culards (VISSAC, ROLLINS, DUMONT, BOCCARD, HANSET, ANSAY) (avant ou après la naissance), les muscles des extrémités distales sont relativement hypotrophiés. Mais le gradient rachidien céphalo-caudal d'hypertrophie paraît s'être inversé chez le fœtus.

INTRODUCTION

Que le caractère culard soit dans la race « Bleu Blanc Belge » un phénomène apparent dès la naissance n'est pas mis en cause. Il suffit de constater par exemple, l'évolution parallèle dans une population bovine du nombre de césariennes et du nombre de naissances de veaux culards (HANSET, 1972). Dans une étude synthétique du problème, MÉNISSIER (1974) constate que, comparés aux veaux normaux, les veaux culards ont un poids de naissance de 10 à 20 p. 100 plus élevé. Si la courbe de croissance post-natale des animaux culards est à présent bien connue, nous possédons peu d'informations sur l'histoire *in utero* du fœtus culard considérée sous son aspect biochimique ou anatomique. Une étude récente de JOHNSON (1974) mise à part, le développement musculaire du fœtus bovin a reçu jusqu'ici peu d'attention. Sa vie intramaternelle est pourtant très longue : comparé au poids maternel, le veau d'un jour pèse 5 à 6 fois plus que le porcelet nouveau-né (DAVIES, 1974). A la naissance, la différenciation musculaire est, au niveau enzymatique, quasi complète (ANSAY, 1974).

Le but de cette étude est :

- a) — de comparer chez le fœtus bovin, au cours de la seconde moitié de la gestation, la vitesse relative de développement anatomique (sur la base du poids de muscles disséqués) de diverses régions musculaires ;
 - d'étudier l'influence sur cette vitesse, de deux types de facteurs, le sexe et le caractère culard ;
- b) — d'examiner l'effet « culard » sur la proportion relative des diverses régions musculaires posant ainsi le problème, bien connu après la naissance, d'une éventuelle dysharmonie musculaire chez le fœtus culard.

Ces questions seront examinées à l'aide de la relation d'allométrie (HUXLEY, 1932-1950 ; TEISSIER, 1948 ; CANTIER *et al.*, 1969). Pour GOULD (1966), l'usage presque exclusif dont jouit cette relation dans l'étude de l'allométrie (croissance relative, croissance différentielle) réside dans sa simplicité, sa facilité d'interprétation et son aptitude à un ajustement statistique adéquat.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. — Fœtus

Les fœtus prélevés à l'abattoir sur des vaches de race « Bleu Blanc Belge » en bonne condition sont l'objet d'une série de mensurations (ANSAY, non publié) parmi lesquelles la « longueur totale » est mesurée entre deux aiguilles implantées l'une dans l'espace altoïdo-occipital, l'autre dans l'espace sacro-coccygien. Cette mesure paraît très semblable à celle qu'ont utilisée PREPIN *et al.* (1972) sur de très jeunes fœtus de bovidés. Cette longueur n'est pas influencée par des variations, dues à l'âge, du volume crânien ou de la longueur de l'os *ischium*.

A ces longueurs correspondent des âges approximatifs qui furent calculés d'après les données de POSTMA (1947) et de BLIN et FOURNIER (1963) (fig. 1).

Chaque fœtus reçoit une note de conformation musculaire purement subjective donnée par un seul opérateur : culard, très bon, bon, ordinaire. Au cours de cette étude, les animaux culards sont opposés aux autres animaux regroupés dans la catégorie « normaux ».

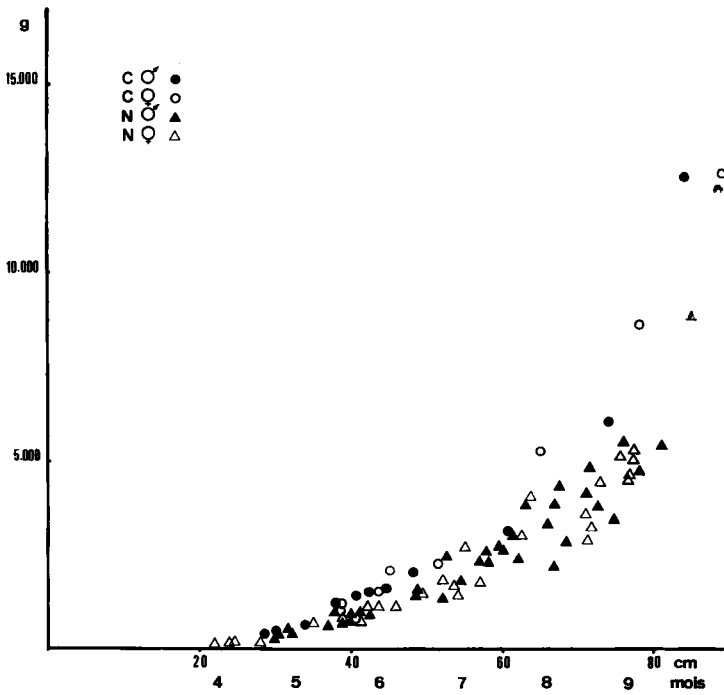


FIG. 1. — Poids total des muscles disséqués en fonction de la longueur totale de l'animal et de son âge approximatif (coordonnées normales)

2. — Dissection

Le jour même de leur prélèvement, les fœtus sont disséqués, les muscles dont la liste est reprise au tableau 1, sont séparés (isolément ou par groupes), pesés et identifiés suivant le protocole et la nomenclature de BUTTERFIELD et MAY (1966).

Les membres (à l'exception de quelques muscles mineurs) sont complètement décharnés. Par contre, le long de la colonne vertébrale, on n'a disséqué que les plus gros muscles. Aucun muscle de la paroi abdominale n'a été prélevé. La masse musculaire analysée représenterait en poids, chez le bœuf adulte et d'après les données de BUTTERFIELD et MAY (1966), quelque 75 p. 100 de la musculature totale. Dans un second temps, les muscles ont été regroupés en 7 régions musculaires (tabl. 1).

3. — Expression et analyse des résultats

Dans l'équation allométrique, $y = ax^b$, représentée sous sa forme logarithmique :

$$\log y = \log a + b \log x$$

x représente le poids total des muscles disséqués ou la longueur totale de l'animal, b est le coefficient d'allométrie ou constante actuelle d'équilibre. C'est la pente de la droite figurative du phénomène exprimé en coordonnées logarithmiques (TEISSIER, 1948). L'analyse statistique de la régression double logarithmique entre x et y a été effectuée par des méthodes classiques de régression linéaire ou curvilinéaire (SNEDECOR et COCHRAN, 1968). Pour chaque régression on a notam-

Désignation	Équation	Valeur de F	
		Linéaire	Curvilinéaire
A. Cou	$y = 0,3369 x^{0,800}$	1 075,3	0,02
<i>M. Splenius</i>	$y = 0,1654 x^{0,886}$	470,1	0,35
<i>M. Semispinalis capitis</i>	$y = 0,1143 x^{0,844}$	1 172,7	0,03
<i>M. Rhomboideus</i>	$y = 0,0970 x^{0,804}$	371,9	0,14
B. Côtes	$y = 0,3378 x^{0,800}$	3 622,0	2,38
<i>M. Pectoralis (Profundus et superficialis)</i>	$y = 0,0984 x^{0,856}$	4 304,5	7,2*
<i>M. Latissimus dorsi</i>	$y = 0,0603 x^{0,884}$	279,1	0,56
<i>M. Serratus ventralis + Cervicis</i> ..	$y = 0,2290 x^{0,820}$	754,0	0,09
C. Épaule-bras	$y = 0,1540 x^{0,897}$	16 425,1	0,38
<i>M. Supraspinatus</i>	$y = 0,0170 x^{1,023}$	3 546,7	1,98
<i>M. Infraspinatus + Deltoïdeus + Teres minor</i>	$y = 0,0248 x^{1,081}$	7 076,2	2,62
<i>M. Subscapularis</i>	$y = 0,0156 x^{0,881}$	1 506,6	2,45
<i>M. Teres major</i>	$y = 0,0056 x^{0,992}$	886,2	0,81
<i>M. Biceps brachii</i>	$y = 0,0092 x^{0,986}$	3 381,1	4,9*
<i>M. Brachialis</i>	$y = 0,0051 x^{1,044}$	3 251,6	3,6
<i>M. Triceps brachii (Caput laterale)</i> ..	$y = 0,0127 x^{0,982}$	147,9	0,08
<i>M. Triceps brachii (Caput longum + Tensor fasciae antibrachiae)</i> ..	$y = 0,0819 x^{0,924}$	7 811,3	12,95***
D. Muscles de l'avant-bras Ensemble des muscles associés au <i>Radius Cubitus</i>	$y = 0,0274 x^{1,080}$	1 679,8	1,12
E. Dos	$y = 0,1331 x^{1,000}$	10 663,8	4,81*
<i>M. Spinalis dorsi</i>	$y = 0,0394 x^{0,843}$	2 697,5	0,19
<i>M. Longissimus dorsi</i>	$y = 0,0685 x^{1,006}$	4 041,9	4,78*
<i>M. Psoas (major + minor + iliacus)</i> ..	$y = 0,0282 x^{1,028}$	7 173,0	0,06
F. Croupe-cuisse	$y = 0,2383 x^{1,082}$	23 155,3	0,03
<i>M. Gluteus medius</i>	$y = 0,0297 x^{1,040}$	6 293,8	0,90
<i>M. Quadriceps femoris</i>	$y = 0,0402 x^{1,090}$	10 796,5	0,98
<i>M. Semimembranosus + Adductor femoris</i>	$y = 0,0431 x^{1,077}$	7 957,9	1,95
<i>M. Semi-tendinosus</i>	$y = 0,0185 x^{1,047}$	4 748,9	0,49
<i>M. Pectinaeus</i>	$y = 0,0080 x^{0,986}$	1 091,7	0,79
<i>M. Gracilis + Sartorius</i>	$y = 0,0124 x^{1,080}$	4 207,6	3,26
<i>M. Tensor fasciae-latae</i>	$y = 0,0206 x^{0,955}$	2 516,9	0,91
<i>M. Biceps femoris</i>	$y = 0,0728 x^{1,019}$	3 222,9	1,32
G. Jambe	$y = 0,0268 x^{1,138}$	6 146,4	2,11
Muscles associés au <i>Tibia-Péroné</i> ..	$y = 0,0140 x^{1,136}$	4 129,4	2,27
<i>M. Soleus + Gastrocnemius + Flexor digitorum superficialis</i> ..	$y = 0,0128 x^{1,140}$	7 758,0	1,39

TABLEAU I

*Équations d'allométrie (grammes) et valeurs des coefficients F de linéarité et de curvilinéarité pour différents muscles ou groupes de muscles (y) du fœtus bovin mâle à musculature non hypertrophiée (n = 36). Regroupement de ces muscles en 7 régions anatomiques. x = poids total des muscles disséqués. Niveau de signification des coefficients F de curvilinéarité dans l'équation $\log y = \log a + b \log x$: * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001.*

←

ment calculé conjointement les valeurs du test de F de linéarité et de curvilinéarité. Tout au long de la période envisagée, les régions musculaires ont montré une vitesse de croissance relative sensiblement constante avec un F de linéarité toujours plus élevé, de plusieurs ordres de grandeur, que le F de curvilinéarité (tabl. 1 et 2). Dans quelques cas, mais de façon non répétable pour les 4 catégories d'animaux envisagés, le F de curvilinéarité s'est montré significatif au seuil de 5 p. 100 (tabl. 1 et 2) (régions de l'épaule-bras chez les mâles culards, dos des mâles normaux, cou des femelles normales) ou même au seuil de 1 p. 100 (muscles de la jambe des femelles normales). Cependant, la représentation graphique des points individuels ou l'ajustement d'une courbe montrent que la déviation par rapport à une droite est très peu marquée.

RÉSULTATS

I. — Note de conformation et résultats de dissection

La signification de la note de conformation utilisée pour distinguer les individus culards a pu être objectivée.

a) Dans la figure 1, le poids total des muscles disséqués a été porté en fonction de la longueur du fœtus (coordonnées normales). Celle-ci est une fonction linéaire de l'âge (« loi de Haase ») (SPENCER et COULOMBE, 1965). On constate que le lot des animaux culards s'individualise en général très bien de l'ensemble des autres animaux regroupés dans le lot des « normaux ».

b) Le poids total des muscles disséqués (y) peut être exprimé en fonction de la longueur totale (x) de l'animal suivant la relation allométrique. On peut, à partir de ces équations et des droites sous-tendues, calculer la masse musculaire totale de fœtus mâles ou femelles, normaux ou culards d'une même longueur. Le degré d'hyper-muscularité $\left(\frac{C - N}{N} \times 100\right)$ des fœtus culards, mâles ou femelles, varie entre 26 et 63,8 p. 100 (tabl. 3).

c) Par ailleurs, pour objectiver davantage la note de conformation des animaux « normaux » répartis dans les 3 catégories suivantes : ordinaire, bon, très bon, on a utilisé le même type d'équation pour calculer le poids théorique total des muscles disséqués aux longueurs totales de 30 et de 70 cm. Les résultats présentés dans la figure 2 montrent que les notes de conformation sont un reflet objectif du degré de muscularité des fœtus.

d) Curieusement, pour des raisons inexplicées, les très jeunes fœtus femelles ont une musculature relativement déficiente avec des notes de conformation généralement très faibles et un poids total de muscles disséqués à 30 cm (tabl. 3) beaucoup plus bas que celui des mâles.

TABLEAU 2

*Équations allométriques (grammes) pour différentes régions de la musculature du fœtus bovin. Équations du type $y = ax^b$
 y = poids de la région musculaire, x = poids total des muscles disséqués. Coefficients F de linéarité et
de curvilinearité pour l'équation $\log y = \log a + b \log x$*

Région	Culards ♂ (n = 12)	Culards ♀ (n = 9)	Normaux ♂ (n = 36)	Normaux ♀ (n = 30)
Épaule-bras F lin. F curv.	$y = 0,1431 x^{1,007}$ 6 982 7,08*	$y = 0,1269 x^{1,018}$ 3 975 0,7	$y = 0,1543 x^{0,997}$ 16 425 0,38	$y = 0,1344 x^{1,014}$ 38 543 0,27
Dos F lin. F curv.	$y = 0,1335 x^{0,983}$ 3 946 4,43	$y = 0,15192 x^{0,982}$ 4 490 1,66	$y = 0,1331 x^{1,000}$ 10 663 4,81*	$y = 0,1451 x^{0,988}$ 16 933 0,70
Croupe-cuisse F lin. F curv.	$y = 0,2325 x^{1,054}$ 18 402 1,5	$y = 0,3115 x^{1,025}$ 14 949 0,12	$y = 0,2383 x^{1,052}$ 23 155 0,034	$y = 0,2995 x^{1,028}$ 53 629 0,64
Avant-bras F lin. F curv.	$y = 0,0235 x^{1,074}$ 5 369 0,28	$y = 0,0272 x^{1,059}$ 936 2,8	$y = 0,0273 x^{1,080}$ 1 679 1,12	$y = 0,0336 x^{1,057}$ 9 837 0,26
Jambe F lin. F curv.	$y = 0,0268 x^{1,119}$ 15 524 5,06	$y = 0,0310 x^{1,113}$ 1 206 3,1	$y = 0,0268 x^{1,138}$ 6 146 2,12	$y = 0,0379 x^{1,102}$ 19 917 9**
Côtes F lin. F curv.	$y = 0,3183 x^{0,919}$ 10 368 4,4	$y = 0,2946 x^{0,927}$ 2 578 3	$y = 0,3378 x^{0,900}$ 3 622 2,4	$y = 0,3080 x^{0,911}$ 15 494 2,84
Cou F lin. F curv.	$y = 0,3806 x^{0,802}$ 1 738 2,57	$y = 0,41918 x^{0,844}$ 533 0	$y = 0,3369 x^{0,800}$ 1 075 0,09	$y = 0,1220 x^{0,988}$ 4 336 6,82*

TABLEAU 3

Poids total des muscles disséqués (en grammes)
chez des fœtus de 30 et de 70 cm, mâles ou femelles, normaux ou culards

Équation du type $y = ax^b$ ($\log y = \log a + b \log x$)
 x = longueur totale; y = poids total des muscles disséqués
*** : niveau de signification par rapport à 3 ($P < 0,001$)

	Poids total des muscles disséqués		
	à 30 cm	à 70 cm	Équations allométriques
Mâles normaux ($n = 36$)	379,6	3 894,1	$y = 0,03317 x^{2,788***}$
Mâles culards ($n = 12$)	478,4	6 077,8	$y = 0,01772 x^{2,989}$
Femelles normales ($n = 30$)	312,7	3 823,9	$y = 0,01349 x^{2,955}$
Femelles culardes ($n = 9$)	456,5	6 264,5	$y = 0,01240 x^{3,091}$
Degré d'hypermuscularité $\left(\frac{C - N}{N} \times 100\right)$			
Mâles	26	56,1	
Femelles	45,9	63,8	

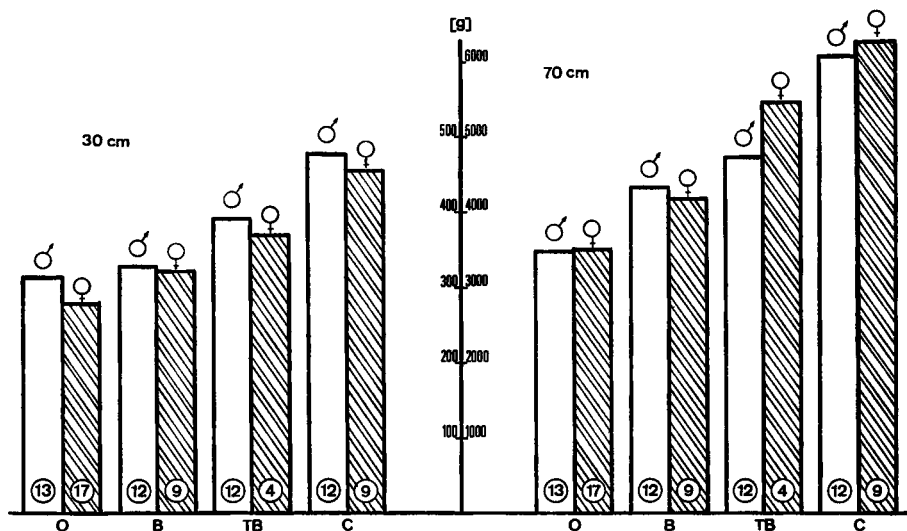


FIG. 2. — Relation entre la note de conformation (O = ordinaire; B = bon; TB = très bon; C = culard) et la masse totale de muscles disséqués aux longueurs de 30 et de 70 cm. Valeurs calculées sur la base de l'équation $y = ax^b$ (y = poids total de muscles disséqués, x = longueur totale en cm). Entouré d'un cercle, le nombre d'animaux.

2. — *Vitesse de croissance relative et régions musculaires*

Dans les 4 classes d'animaux (culards et normaux, mâles et femelles), (tabl. 4) la croissance est isométrique ou quasi-isométrique pour le dos et la région de l'épaule-bras. L'allométrie est majorante pour la croupe-cuisse, l'avant-bras et les jambes. Au contraire, la vitesse de croissance relative des côtes et du cou est comparative-ment faible.

TABLEAU 4

Comparaison des coefficients d'allométrie ($b \pm Sb$) caractérisant la vitesse de croissance de diverses régions musculaires

$$y = ax^b$$

x = poids total des muscles disséqués

y = poids de la région musculaire

* = niveau de signification de la différence par rapport à 1 (isométrie)

** = niveau de signification de la différence entre sexes

	Culards ♂ (n = 12)	Culards ♀ (n = 9)	Normaux ♂ (n = 35)	Normaux ♀ (n = 30)
Épaule-bras	1,007 ± 0,012	1,018 ± 0,016	0,997 ± 0,008	1,014** ± 0,005
Dos	0,993 ± 0,016	0,982 ± 0,015	1,000 ± 0,010	0,988 ± 0,008
Croupe-cuisse	1,054*** ± 0,008**	1,025* ± 0,008	1,052*** ± 0,007***	1,028*** ± 0,004
Avant-bras	1,074*** ± 0,015	1,059 ± 0,035	1,080*** ± 0,026	1,057*** ± 0,011
Jambe	1,119*** ± 0,009	1,113*** ± 0,032	1,138*** ± 0,015	1,102*** ± 0,008
Côtes	0,919*** ± 0,009	0,927*** ± 0,018	0,900*** ± 0,015	0,911*** ± 0,007
Cou	0,802*** ± 0,019	0,844*** ± 0,037	0,800*** ± 0,024***	0,898*** ± 0,014

Les différences observées entre coefficients d'allométrie sont le plus souvent significatives (tabl. 5). Chaque région musculaire démontre donc une vitesse de développement caractéristique.

3. — *Vitesse de croissance relative des régions et influence du sexe*

L'influence du sexe apparaît significativement importante au niveau de deux régions : la région de la croupe-cuisse chez les normaux et les culards et la région du cou chez les normaux (tabl. 4).

Chez les femelles, la région de la croupe-cuisse se développe moins rapidement que chez les mâles. Chez les animaux normaux de manière significative et chez les

culards de manière moins marquée, la participation prise par les muscles du cou dans l'ensemble des muscles décroît dans les deux sexes mais de manière plus marquée chez les mâles que chez les femelles.

TABLEAU 5

Signification des différences observées (valeurs du tabl. 4)
dans la comparaison des coefficients d'allométrie
caractérisant les diverses régions musculaires

* = P < 0,05 ** = P < 0,01 *** = P < 0,001

	Épau- bras	Avant- bras	Croupe- cuisse	Dos	Jambes	Côtes
Avant-bras	N ♂ ***					
	N ♀ ***					
	C ♂ ***					
	C ♀ ---					
Croupe-cuisse	N ♂ ***	--				
	N ♀ ---	**				
	C ♂ ***	--				
	C ♀ ---	--				
Dos	N ♂ ---	***	***			
	N ♀ ***	***	***			
	C ♂ ---	***	**			
	C ♀ ---	---	**			
Jambe	N ♂ ***	---	***	***		
	N ♀ ***	***	***	***		
	C ♂ ***	***	***	***		
	C ♀ ***	---	**	***		
Côtes	N ♂ ***	***	***	***	***	
	N ♀ ***	***	***	***	***	
	C ♂ ***	***	***	***	***	
	C ♀ ***	***	***	*	***	
Cou	N ♂ ***	***	***	***	***	***
	N ♀ ***	***	***	***	***	---
	C ♂ ***	***	***	***	***	***
	C ♀ ***	***	***	***	***	---

4. — Vitesse de croissance relative des régions et effet du caractère culard

Le phénomène culard ne produit aucun effet sur la vitesse de développement des régions considérées, à tout le moins pendant la période considérée. Il y a, en effet, une très grande similitude entre les coefficients d'allométrie des culards et des normaux, aussi bien chez les mâles que chez les femelles (tabl. 4).

5. — Effet du gène culard sur l'importance relative des diverses régions

A l'examen de la figure 3 (valeurs individuelles pour 3 régions caractéristiques), on peut constater que, par rapport à l'ensemble des muscles disséqués, les animaux

culards ont proportionnellement autant de muscles dans la région croupe-cuisse, plus de muscles dans la région du cou, moins de muscles dans la région de la jambe. La signification de ces différences a pu être appréciée statistiquement. A partir des équations de régression du poids des muscles d'une région sur le poids total des muscles disséqués, équations calculées séparément pour les normaux et les culards (tabl. 2), on peut calculer le poids prévu (\hat{Y} prévu) des muscles d'une région quelconque pour des poids totaux donnés ($X = 500$ g et $8\ 000$ g) des muscles disséqués. Ces valeurs prévues sont données au tableau 6. Ainsi, pour chaque région, et pour chacun des poids totaux 500 g et $8\ 000$ g, on a une valeur prévue pour les normaux et une valeur prévue pour les culards. Le degré de signification de la différence entre ces deux valeurs prévues est également donnée tableau 6.

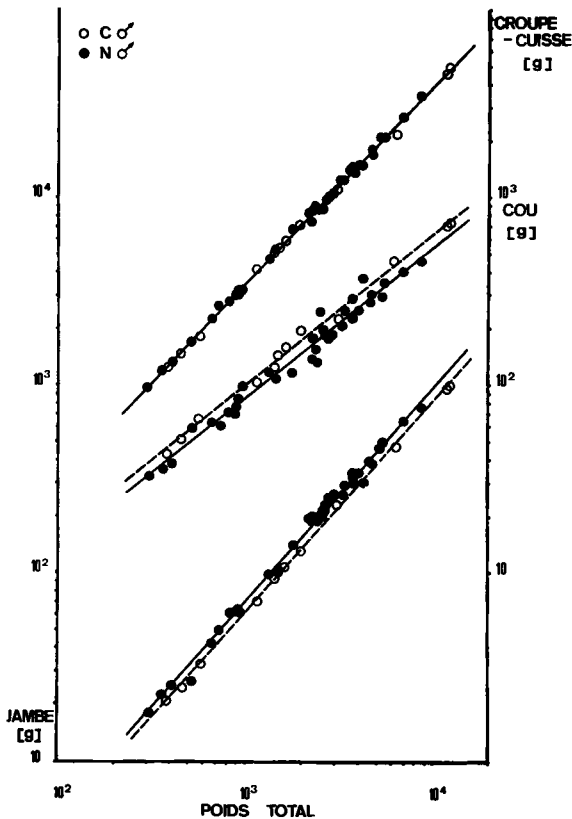


FIG. 3. — Croissance des muscles de la région de la croupe-cuisse, du cou et de la jambe chez des fœtus mâles culards (12) et normaux (36) (Droites de régression tracées suivant les équations du tableau 2)

A un même poids de muscles totaux, les fœtus culards ont une musculature du dos ($p < 0,05$) et des segments distaux des membres (avant-bras et jambe) ($p < 0,001$) significativement moins développée. Par contre, les muscles du cou et de la cage thoracique ($p < 0,001$) sont plus développés chez les fœtus culards.

TABLEAU 6

Comparaison des mâles culards ($n = 12$) et des mâles normaux ($n = 35$),
 du point de vue de l'importance relative de chaque région dans l'ensemble des muscles disséqués
 Valeurs représentatives (pour 500 g et 8 000 g de poids total de muscles disséqués)
 calculées à partir des équations correspondantes du tableau 2

Régions		Poids total disséqué		Signe	Différence C — N Niveau de signification
		500 g	8 000 g		
Épaule-bras	C	74,87	1 224,72		NS
	N	75,77	1 202,78		
Croupe-cuisse	C	162,82	3 027,5		NS
	N	164,71	3 045,1		
Dos	C	63,95	1 003,8	—	P < 0,05
	N	66,34	1 060,1		
Avant-bras	C	18,61	365,32	—	P < 0,001
	N	22,54	450,53		
Jambe	C	28,08	625,06	—	P < 0,001
	N	31,62	741,74		
Côtes	C	96,43	1 233,7	+	P < 0,001
	N	90,46	1 095,4		
Cou	C	56,49	522,17	+	P < 0,001
	N	48,49	445,52		

6. — *Autres modes d'expression des résultats
 basés sur les équations d'allométrie du tableau 2*

Dans la figure 4, on a représenté pour deux poids totaux de muscles disséqués (500 et 8 000 g), le pourcentage occupé, dans l'ensemble de la musculature étudiée, par chacune des 7 régions.

Cette figure montre :

a) La part prise dans la musculature totale, par les régions de l'épaule-bras et du dos reste constante, il y a isométrie. La jambe, l'avant-bras, la croupe-cuisse voient leur participation augmenter (allométrie majorante). L'inverse est vrai pour le cou et les côtes (allométrie minorante).

b) Du point de vue de l'inclinaison des droites, il n'y a pas de différences entre les animaux culards et normaux.

c) Au niveau des régions de la croupe-cuisse et du cou, on observe chez les très jeunes fœtus un fort dimorphisme sexuel. Cette différence entre les sexes tend à s'effacer chez les fœtus les plus gros (à l'approche de la naissance).

d) Les animaux culards, quel que soit leur sexe, montrent au niveau de la jambe, de l'avant-bras, une charnure moins importante. Par contre, la musculature de la

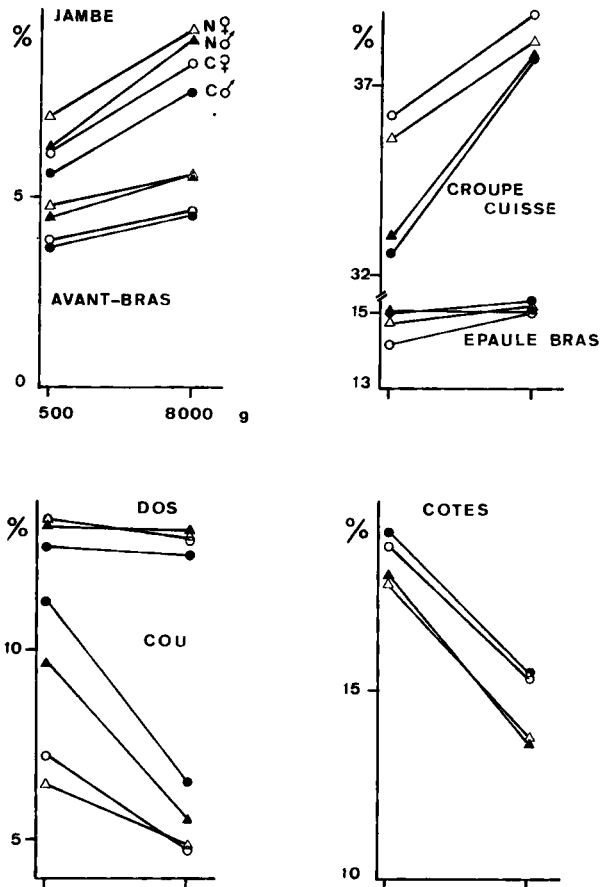


FIG. 4 — Représentation (en p. 100) à 2 poids totaux de muscles disséqués (500 g et 8 000 g) de chacune des 7 régions musculaires (Fœtus mâles et femelles, culards et normaux. Pourcentages établis sur la base des équations du tableau 2)

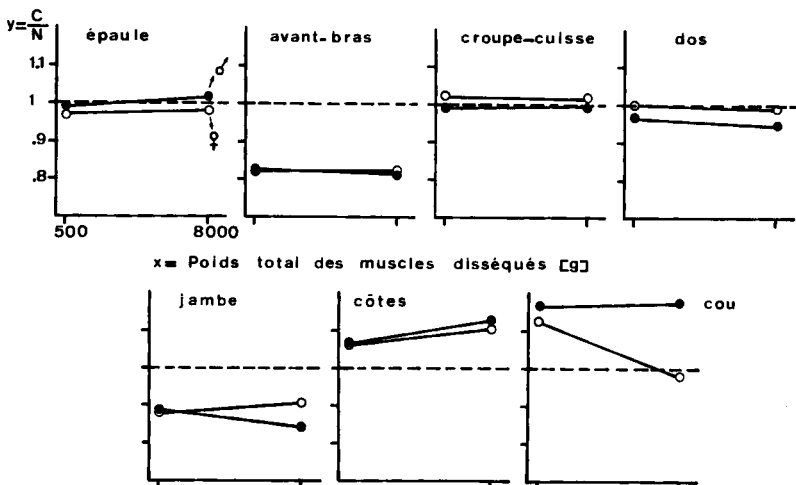


FIG. 5. — Valeur du rapport culard/normal (C/N) à 2 poids totaux de muscles disséqués (500 g et 8 000 g) (Valeurs établis sur la base des équations du tableau 2)

région des côtes est comparativement plus développée. Les femelles culardes apparaissent plus musclées dans la région croupe-cuisse. C'est au niveau du cou que l'hypertrophie due au gène culard se marque le plus chez les mâles.

La comparaison culards/normaux est le mieux exprimée dans la figure 5. Pour chaque région musculaire, aux deux poids totaux de muscles disséqués 500 et 8 000 g et pour les deux sexes, sont représentées les valeurs du rapport C/N. Dans les deux sexes, ce rapport est inférieur à l'unité pour les régions distales des membres : avant-bras et jambe. Mâles et femelles culards ont plus de muscles associés aux côtes. Les culards mâles ont de manière constante une région cervicale plus développée que celle des animaux normaux. L'hypertrophie du cou des très jeunes femelles est également bien affirmée. Mais cette différence tend à disparaître chez les foetus plus âgés.

DISCUSSION

« Size, shape and age » (MEDAWAR, 1945). Taille, forme et âge sont les trois composants d'un système dynamique et sont étroitement liés.

Simple expansion volumétrique, expansion de matière vivante, quelle que soit sa définition, la croissance est analysée au moyen de deux paramètres : taille (poids total ou poids d'un constituant : os, protéines, calcium) et âge. Le présent travail portant sur des foetus d'âge indéterminé (de 5 mois et plus) n'est donc pas l'étude de la « croissance » du muscle fœtal bovin.

Forme et taille : la relation d'allométrie

« As the animal grows, it changes its conformation » (HAMMOND, 1928, cité par HUXLEY, 1932). Le mot conformation est un mot bien courant du vocabulaire zootechnique. Tout comme la forme dont elle est un synonyme, la conformation (le développement musculaire relatif, DUMONT *et al.*, 1969) est difficile à définir ou à caractériser en nombres réels. Delon D'ARCY THOMPSON (1942), la forme d'un organisme est déterminée par sa vitesse de croissance en diverses directions. Pour MEDAWAR (1945), il n'est pas possible de la définir par un système simple d'unités.

L'allométrie se prête bien à l'étude de la conformation : elle décrit les changements de proportion (de forme, de conformation) rendus nécessaires par le changement de taille (GOULD, 1966). De plus, remarque TEISSIER (1948), la relation d'allométrie ne fait pas intervenir l'âge des individus dont elle compare les caractéristiques. C'est la raison essentielle de son succès.

Le présent travail montre les changements de forme (la forme est ici déterminée par la croissance différentielle des principales masses musculaires) en fonction de l'augmentation du poids total des muscles disséqués et cela au cours de la seconde moitié de la vie fœtale. Cette forme apparaît encore influencée par deux autres facteurs : le sexe et le phénotype culard.

I. — *Vitesse de croissance relative des régions musculaires et gradients de croissance*

Chaque région est caractérisée par une vitesse de croissance relative (par rapport à l'ensemble des muscles disséqués) très caractéristiques. Dans chaque classe étudiée (mâles et femelles, culards et normaux), la juxtaposition sur l'animal des coefficients d'allométrie démontre l'existence de deux gradients de croissance (fig. 6).

Un premier gradient de croissance antéro-postérieur est caractérisé par une croissance ralentie du cou, une croissance isométrique du dos et une croissance relativement accélérée de l'ensemble croupe-cuisse. Ce gradient s'amplifie encore en descendant le long du membre postérieur : les muscles associés au tibia (muscles de la jambe) ont le plus grand potentiel de croissance. Un même gradient proximo-distal se retrouve également au niveau du membre antérieur dans lequel les muscles de l'avant-bras se développent plus rapidement que ceux de l'épaule-bras.

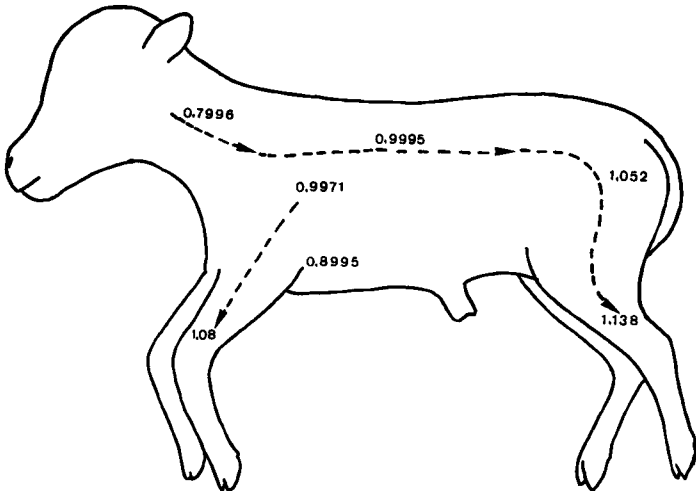


FIG. 6. — *Gradients de croissance chez un fœtus mâle normal*
(Coefficients d'allométrie repris du tableau 4)

L'existence de ces gradients de croissance rend compte des changements de silhouette ou de « profil » du fœtus au cours de la période envisagée. Il est d'observation commune (voir par exemple BLIN et FOURNIER, 1963) que le jeune fœtus (de 4-5 mois) a un aspect plus ramassé, la tête est grosse et longue, le chanfrein relativement court, l'avant-train est puissamment développé chez le fœtus mâle ; les membres apparaissent courts et graciles.

2. — *Vitesse de croissance relative des régions musculaires et des segments osseux des membres*

Au gradient centrifuge de vitesse de croissance musculaire est superposé parallèlement un gradient de même nature gouvernant la vitesse de croissance en longueur des os. C'est particulièrement net au niveau des os du membre postérieur comme le montrent les résultats du tableau 7 (ANSAY, résultats non publiés).

TABLEAU 7

Croissance en longueur (cm) de 4 os (y_1, y_2, y_3, y_4) du membre postérieur en fonction de la longueur totale de ces os (x)

	Mâles (n = 36)	Femelles (n = 30)
Bassin	$y_1 = -0,4430 x^{0,939}$	$y_1 = -0,4084 x^{0,913}$
Fémur	$y_2 = -0,6096 x^{0,995}$	$y_2 = -0,6165 x^{1,001}$
Tibia	$y_3 = -0,6215 x^{1,012}$	$y_3 = -0,6523 x^{1,032}$
Métatarse	$y_4 = -0,7706 x^{1,072}$	$y_4 = -0,7727 x^{1,075}$

3. — Vitesse de croissance relative des régions musculaires :
avant et après la naissance

Après la naissance, il est surprenant de constater que beaucoup de coefficients d'allométrie s'inversent. Ce phénomène déjà observé par JOHNSON (1974) sur 7 muscles bovins étudiés avant et après la naissance, ressort de l'examen du tableau 8. Par-delà les différences existant entre les protocoles expérimentaux, la comparaison des données de ROBELIN *et al.* (1974) établies sur des taurillons *Frisons* de 9 à 15 mois, des données de BUTTERFIELD et BERG (1966) sur des bœufs de diverses races et des résultats du présent travail sur des foetus mâles suggère qu'après la naissance, le gradient proximodistal s'inverse et que le pôle privilégié de développement se déplace vers les segments proximaux des membres pelvien et thoracique. Se basant sur des mensurations externes, CORNEVIN écrivait déjà en 1892 que « c'est donc beaucoup moins par les rayons inférieurs des membres que par les supérieurs que se produit l'élévation de la taille ». Un gradient inférosupérieur de croissance au niveau des membres est de règle chez les autres espèces animales après la naissance. HAMMOND (1932) pour les os du Mouton, VEZINHET *et al.* (1972) pour la musculature du Lapin, DAVIES (1974) chez le Porc l'ont également décrit.

4. — Vitesse de croissance relative des régions musculaires :
effet du sexe

Façonnée principalement par un gradient de croissance antéropostérieur et par un gradient proximodistal, la silhouette du foetus est encore modelée par la superposition d'une autre influence, l'effet sexuel qui se manifeste surtout chez les jeunes foetus.

Le très jeune foetus mâle (4-5 mois) exhibe à l'instar du foetus de mouton (STEPHENSON, 1962) une hypertrophie considérable de l'encolure. Sa régression rapide est traduite par un coefficient d'allométrie très bas (0,8), beaucoup plus faible que chez la femelle (0,898). Celle-ci présente, au début de la période envisagée, une proportion plus élevée de muscles de la croupe-cuisse (fig. 4). Pour ces régions, cou et croupe-cuisse, l'approche de la naissance tend à annuler le dimorphisme sexuel musculaire.

Après la naissance, les différences sexuelles qui s'étaient estompées réapparaissent progressivement chez les animaux non castrés. L'aspect le plus frappant est sans aucun doute la bosse musculaire du cou que l'on retrouve à la fois chez les plus petits fœtus mâles et chez les gros taureaux. Le muscle *splenius* apparaît comme une cible privilégiée de l'action de l'hormone mâle bovine. C'est lui qui subit la plus forte régression dans l'expérience qui consistait à castrer un des membres d'une paire de jumeaux monozygotes mâles (BRÄNNANG, 1971). Chez le jeune veau de 83 kilos, la concentration en DNA-P de ce muscle excède de quelque 50 p. 100 celle de gros muscles tels que le muscle *Biceps femoris* et le muscle *Longissimus dorsi* (ANSAY, 1974). Cette hypercellularité (hyperplasie) observée à la naissance pourrait être considérée à la fois comme le résultat de l'hypertrophie (hyperplasie ?) observée chez le très jeune fœtus et comme la base de l'hypertrophie cervicale observée chez le taureau adulte.

Des résultats partiels (dissection d'un fœtus free-martin) suggèrent de plus que cette bosse musculaire observée chez le jeune fœtus mâle pourrait être de nature hormonale. Les muscles du cou du cojumeau femelle sont hypertrophiés (de 20 à 50 p. 100) quand on les compare à ceux d'une femelle normale et présentent un poids approximativement égal de muscles du dos ou de la croupe-cuisse.

5. — Effet du phénotype culard

Le phénotype culard apparaît tout d'abord comme une « conformation » particulière dont le déterminisme peut se prêter à une double causalité. Dans une première hypothèse, cette conformation se différencierait progressivement de la conformation normale par des coefficients allométriques différents pour certaines régions (par exemple, allométrie majorante pour la croupe, allométrie minorante pour la jambe). Le caractère culard chez le Porc de *Piétrain* paraît relever de cette première causalité : ce type de porc montre un gradient craniocaudal de développement plus prononcé que celui du *Large White*, avec des coefficients d'allométrie plus élevés dans la croupe et dans le dos, moins élevés dans l'épaule. La différence de vitesse de croissance relative de ces régions suffirait à justifier le développement musculaire plus grand du *Piétrain* (DAVIES, 1974).

Selon une seconde hypothèse, la conformation « culard » serait un phénomène précocement défini et dont nous ne saisissons chez les fœtus culards de cinq mois et plus que le résultat. C'est l'hypothèse qu'étayaient les données de ce travail. Il n'y a, en effet, dans la période considérée et au niveau de la vitesse de croissance relative des régions musculaires aucune différence entre animaux culards et normaux. On est au contraire frappé par leur très grande similitude. Cette observation signifie qu'une fois l'hypertrophie installée, les muscles obéissent aux mêmes influences, au même déplacement des centres privilégiés de croissance.

Cependant, l'effet culard se marque chez nos animaux par une plus grande proportion des muscles des portions proximales du squelette appendiculaire et cela aux dépens des portions distales du même squelette. Les culards montrent d'autre part une hypertrophie préférentielle des muscles du thorax dans les deux sexes, des muscles du cou chez le mâle pendant toute la période envisagée (fig. 4) et chez la très jeune femelle. La femelle cularde a, d'autre part, une région de la croupe-cuisse relativement hyperdéveloppée.

Après la naissance, de nombreuses études convergeant dans leurs résultats essentiels (VISSAC, 1968 ; ROLLINS, 1969 ; DUMONT et BOCCARD, 1972 ; BOCCARD et DUMONT, 1972 ; HANSET et ANSAY, 1972), montrent chez le culard (VISSAC *et al.*, 1973) :

- un gradient antéro-postérieur d'hypertrophie musculaire du tronc ;
- un gradient centripète d'hypertrophie musculaire et d'hypotrophie squelettique pour les membres et les ceintures.

Si le gradient centripète d'hypertrophie musculaire se retrouve chez les fœtus culards, il semble que chez les fœtus mâles tout au moins, le gradient antéro-postérieur d'hypertrophie musculaire, doit être retourné.

Reçu pour publication en décembre 1975.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été exécuté sous les auspices de l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.) que nous tenons à remercier. Nous exprimons aussi notre gratitude à M. le Professeur HANSET pour ses conseils en matière d'interprétation statistique.

SUMMARY

ANATOMIC DEVELOPMENT OF BOVINE FETAL MUSCLE.

STUDY OF THE « DOUBLE-MUSCLE » EFFECT

Eighty-six fetuses (47 males and 39 females ; 65 normal, 21 double-muscle) from 5 months to birth are dissected. The whole of the muscles dissected represents 75 p. 100 of the total musculature. The legs are completely stripped of meat ; only the largest muscles are taken from the neck, back and thorax. At a given total length, double-muscle animals have 26 to 63.8 p. 100 more total muscle.

These muscles are regrouped into 7 regions and the growth rate of these regions is compared by calculating the allometry coefficient b (equation $y = ax^b$ or $x =$ total weight of muscles dissected) for each one.

1. The growth rate of the shoulder and back is almost constant in all the categories of animals during the period under consideration. On the contrary, the foreleg, rump-thigh and legs on one hand, and the ribs and neck on the other, are characterized by an allometry which increases in the former and decreases in the latter. An antero-posterior gradient (along the spinal column) is superimposed on an infero-superior gradient (along the legs).

2. In males (double-muscle and normal) the part studied in the rump-thigh region increases faster than in females. On the contrary, neck muscle growth in normal males is clearly slower than in the females.

3. Between double-muscle and normal animals there is no difference in either sex as to the rate of development of each of the 7 regions. However, double-muscle and normal differences appear in the relative proportion of the various regions. Thus, at all the weights considered, the double-muscle males have significantly less muscle in the regions of the foreleg, leg and back, and more muscle in the neck and rib cage regions.

After birth, some allometric coefficients in this study are reversed as compared to results obtained by BUTTERFIELD, ROBELIN *et al.* For example, after birth allometry increases in the neck,

but decreases in the upper leg. The superior leg muscles are also relatively hypotrophied in double-muscle animals (VISSAC, ROLLINS, DUMONT, BOCCARD, HANSET, ANSAY) (before or after birth). However, the antero-posterior spinal column gradient of hypertrophy seems reversed in the fetus.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSAY M., 1974. Individualité musculaire chez le Bovin : étude de l'équipement enzymatique de quelques muscles. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **14**, 471-486.
- BLIN P. C., FOURNIER Cl., 1963. Diagnose de l'âge intramaternel et périodisation du développement dans l'espèce bovine. *Économie et Médecine animales*, **1**, 12-32.
- BOCCARD R., DUMONT B. L., 1972. Conséquences de l'hypertrophie musculaire héréditaire des bovins sur la musculature. I. Importance relative des diverses régions (abstr.). *Ann. Génét. Sél. anim.*, **4**, 130.
- BRÄNNÄNG E., 1971. Studies on monozygous cattle twins. XXIII. The effect of castration and age of castration on the development of single muscles, bones and special sex characters, part II. *Swed. J. Agric. Res.*, **1**, 69-78.
- BUTTERFIELD R. M., BERG R. T., 1966. Relative growth patterns of commercially important muscle groups of cattle. *Res. Vet. Sci.*, **7**, 389-393.
- BUTTERFIELD R. M., MAY N. D. S., 1966. *Muscles of the ox*. University of Queensland Press, 164 p.
- CANTIER J., VEZINHET A., ROUVIER R., DAUZIER L., 1969. Allométrie de croissance chez le Lapin (*Oryctolagus cuniculus*). I. Principaux organes et tissus. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **9**, 5-39.
- CORNEVIN C., 1892. Études zootechniques sur la croissance. *Arch. Phys. norm. pathol.*, **5**, 477-487.
- DAVIES A. S., 1974. A comparison of tissue development in *Pietrain* and *Large White* pigs from birth to 64 kg live weight. 2. Growth changes in muscle distribution. *Anim. Prod.*, **19**, 377-387.
- DUMONT B. L., BOCCARD R., 1972. Conséquences de l'hypertrophie musculaire héréditaire des bovins sur la musculature. II. Importance relative des différents muscles (abstr.). *Ann. Génét. Sél. anim.*, **4**, 130-131.
- DUMONT B. L., SCHMITT O., ROY G., 1969. Développement musculaire comparé de porcs *Pietrain* et *Large White*. *Rec. Méd. Vét.*, **145**, 937-947.
- GOULD S. J., 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biol. Rev.*, **41**, 587-640.
- HAMMOND J., 1932. *Growth and the development of mutton qualities in the sheep. A survey of the problems involved in meat production*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 597 p.
- HANSET R., 1972. L'interférence du caractère « culard » et de la sélection basée sur la conformation, dans la race bovine de Moyenne et Haute Belgique. *Ann. Méd. Vét.*, **116**, 27-56.
- HANSET R., ANSAY M., 1972. Régions privilégiées d'hypertrophie musculaire, chez le bovin culard. *Ann. Méd. Vét.*, **116**, 17-25.
- HUXLEY J. S., 1932. *Problems of relative growth*. Methuen and Co Ltd, London, 276 p.
- HUXLEY J. S., 1950. Relative growth and form transformation. *Proc. Roy. Soc. B.*, **137**, 465-469.
- JOHNSON E. R., 1974. Growth in 6 bovine muscles from 150 days gestation to 630 days old. *Res. Vet. Sci.*, **17**, 273-279.
- MEDAWAR P. B., 1945. Size, shape and age. In *Essays on growth and form* presented to D'Arcy Thompson, Edited by W. E. LE GROS CLARK and P. B. MEDAWAR, Oxford at the Clarendon Press, 157-187.
- MÉNISSIER F., 1974. Hypertrophie musculaire d'origine génétique chez les bovins : description, transmission, emploi pour l'amélioration de la production de viande. *1^{er} Congrès mondial de génétique appliquée à l'élevage*. Vol. 1, Madrid 1974, 85-107.
- POSTMA C., 1947. De ouderdomsbepaling by rinderfoetus. *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, **72**, 463-531.
- PREPIN J., VIGIER B., JOST A., 1972. Croissance du fœtus de veau de grossesse simple ou multiple à l'époque de la différenciation sexuelle (42 à 70 jours). *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 545-558.
- ROBELIN J., GEAY Y., BÉRANGER C., 1974. Croissance relative des différents tissus, organes et régions corporelles des taurillons *Frisons*, durant la phase d'engraissement de 9 à 15 mois. *Ann. Zootech.*, **23**, 313-323.
- ROLLINS W. C., JULIAN L. M., CARROLL F. D., 1969. A note on the body composition of a double-muscled female and a normal female from a line bred Aberdeen-Angus herd. *Anim. Prod.*, **11**, 111-114.
- SNEDECOR G. W., COCHRAN W. G., 1968. *Statistical methods*, sixth edition, The Iowa State University Press, Iowa-U.S.A., p. 455-456.
- SPENCER R. P., COULOMBE M. J., 1965. Fetal weight-gestational age relationship in several species. *Growth*, **29**, 165-171.
- STEPHENSON S. K., 1962. Prenatal growth in *Romney* × *Southdown* cross and *Australian Merino* sheep. II. Carcass conformation in the breed groups. *Austr. J. agric. Res.*, **13**, 733-766.
- TEISSIER G., 1948. La relation d'allométrie. Sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, **4**, 14-53.

- THOMPSON D'ARCY, 1942. *On growth and form*, vol. 1. Cambridge University Press. Second Edition 1942, reprinted 1968, 464 p.
- VEZINHET A., ROUVIER R., DULOR J.-P., CANTIER J., 1972. Allométrie de croissance chez le Lapin. III. Principales régions du système musculaire. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 33-45.
- VISSAC B., 1968. Étude du caractère culard. II. Incidence du caractère culard sur la morphologie générale des bovins. *Ann. Zootech.*, **17**, 77-101.
- VISSAC B., MÉNISSIER F., PERREAU B., 1973. Étude du caractère culard. VII. Croissance et musculature des femelles, déséquilibre morphologique au vêlage. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **5**, 23-38.