

## PIGMENTATION MUSCULAIRE DU VEAU DE BOUCHERIE

### I. — FACTEURS DE VARIATION

J. CHARPENTIER

avec la collaboration technique de Jacqueline GOMET et de Denise GUÈNE

*Laboratoire de Recherches sur la Viande,  
Centre national de Recherches zootechniques, 78 - Jouy-en-Josas*

#### SOMMAIRE

L'étude préliminaire des facteurs de variation de la pigmentation musculaire du veau soumis à une alimentation lactée exclusive a été entreprise sur 31 veaux de race *Française Frisonne Pie Noire* répartis en deux lots maintenus respectivement à des vitesses de croissance de 600 et 1 100 g par jour et abattus à des âges variables entre la naissance et 12 semaines.

L'existence d'une liaison assez étroite entre la valeur de l'hématocrite (pourcentage, en volume, des globules rouges dans le sang) immédiatement avant l'abattage et l'intensité de la pigmentation musculaire montre que cette dernière est liée à l'état d'anémie apparente de l'animal. L'étude de l'évolution de l'hématocrite et de la teneur en hémoglobine montre en outre, d'une part, que ces caractéristiques présentent une grande variabilité dès la naissance et, d'autre part, que l'anémie est du type microcytique normochrome. L'importance de la pigmentation musculaire est liée à la valeur initiale de l'hématocrite ou du taux d'hémoglobine.

La variabilité des teneurs en fer sanguin des animaux dès leur jeune âge doit refléter une variabilité semblable dans d'autres secteurs de l'organisme, secteurs hépatique et musculaire en particulier. L'étude de l'évolution des quantités globales de fer dans divers secteurs de l'organisme montre que dans le cas d'une alimentation lactée exclusive et de la production d'un animal de 120 à 140 kg, on assiste à une déplétion quasi totale de la réserve hépatique et à un accroissement dans les secteurs sanguin et musculaire, ceci malgré une importante diminution des teneurs en fer de ces tissus rapportées à l'unité de poids. En effet, la teneur en fer du tissu musculaire et en particulier la teneur en fer héminique, directement responsable de la pigmentation musculaire, diminuent au cours de la croissance de l'animal.

L'analyse de régression de l'hématocrite initial et du poids sur la teneur en fer héminique du tissu musculaire montrent que chacun de ces deux facteurs exerce une influence dont l'importance respective est du même ordre. L'augmentation des teneurs globales en fer des secteurs sanguin et musculaire s'explique par la déplétion de la réserve hépatique et l'apport alimentaire dont les importances respectives sont discutées.

La couleur de la musculature est, dans le cas du veau de boucherie, un des facteurs essentiels de la qualité. L'intensité de la coloration musculaire constitue, en effet, un des principaux éléments pris en considération lors de l'estimation de la valeur commerciale des veaux de boucherie. Contrairement aux autres critères qui

conditionnent également cette qualité (pourcentage d'os, conformation, état d'engraissement), la couleur est un facteur dont la maîtrise par l'éleveur paraît très faible.

Malgré les précautions habituelles prises dans la conduite de la production pour obtenir une chair très faiblement pigmentée (alimentation lactée quasi exclusive, confinement de l'animal, toutes techniques qui visent à créer un état anémique), l'obtention de la couleur souhaitée reste néanmoins pleine d'aléas. En fait, il est logique de penser que les difficultés rencontrées à cet égard dans la production du veau de boucherie de qualité n'ont d'autres origines que le manque de nos connaissances à propos du déterminisme de la pigmentation musculaire chez ce type d'animal. C'est pourquoi il nous a paru utile d'entreprendre une série de recherches sur cette question, d'abord pour élucider les mécanismes qui président à la formation du pigment musculaire et, ensuite, pour élaborer les techniques pratiques permettant l'obtention du degré de pigmentation souhaitable.

La pigmentation musculaire est due, essentiellement, à la présence dans les fibres musculaires d'une chromoprotéine renfermant du fer, la myoglobine, dont le rôle est de transférer à la chaîne respiratoire l'oxygène qui lui a été apporté par le sang. La formation de la myoglobine, dont dépend finalement la coloration musculaire, est en partie fonction des apports de fer disponible à cet effet. Ce fer peut provenir, soit de l'apport alimentaire, soit de la réserve accumulée dans le foie au cours de la gestation, soit du fer rendu libre par la destruction des globules rouges au cours des premiers stades de la vie extra utérine.

L'étude de la dynamique du fer au cours de la croissance dans les secteurs musculaire, sanguin et hépatique, doit permettre d'établir quelle est la part respective des différentes sources de fer dans la formation de la myoglobine.

## MATÉRIEL, ET MÉTHODES

Trente et un veaux de race *Française Frisonne Pie Noire* achetés à l'âge de 3 à 4 jours furent répartis en deux lots dont les croissances furent fixées respectivement à 1 100 g (lot I) et 600 g (lot II) par jour.

Le lot I comprenait 16 animaux et le lot II, 15 animaux. Les vitesses de croissance moyenne réalisées par chaque lot furent respectivement de  $597 \pm 89$  et de  $1\ 040 \pm 103$  g/j. L'alimentation ne comportait que du lait entier de taux butyreux compris entre 35 et 40 p. 100. Des prélèvements de sang furent faits chaque semaine par piqûre intraveineuse dans la jugulaire en veillant à ce que l'animal soit le plus calme possible, afin de ne pas avoir des valeurs anormalement élevées de l'hématocrite ou du taux d'hémoglobine (CHARPENTIER, résultats non publiés).

L'hématocrite fut déterminé par centrifugation de sang hépariné à 4 000 t/mn pendant 30 mn. La teneur en hémoglobine du sang fut déterminée par le taux de fer sanguin selon la méthode d'HENRY, (1945).

La numération des hématies fut effectuée selon le procédé classique de dilution et numération au moyen d'une cellule hématimétrique de volume connu. Toutefois, afin de simplifier la technique tout en augmentant sa précision, on procédait de la façon suivante : après quelques minutes nécessaires à la sédimentation des hématies, celles-ci étaient photographiées au grossissement  $G \times 40$ . Après développement, le négatif était projeté au moyen d'un agrandisseur et les hématies étaient comptées à l'aide d'un crayon compteur électrique. Cette technique permettait ainsi de compter très rapidement environ 2 000 hématies, sans risque d'erreurs, et sans fatigue pour l'opérateur.

Le fer du lait fut dosé par la méthode à l'orthophénañtrole après extraction à l'HCl 6 N pendant 30 mn à la température ambiante (SHAPIRA et DREYFUS, 1958).

Dans chaque lot, des animaux furent abattus chaque semaine jusqu'à l'âge de trois mois environ. Une moitié de la carcasse fut disséquée en totalité. La musculature totale de 18 demi-carcasses fut broyée et homogénéisée de façon à obtenir un échantillon représentatif de l'ensemble.

Le fer héminique total (c'est-à-dire celui de la myoglobine plus celui de l'hémoglobine résiduelle),

fut dosé après extraction à l'acétone et à l'acide chlorhydrique, sous forme de chlorhydrate d'hématine (HORNSEY, 1956).

Le fer musculaire total fut dosé par la méthode à l'orthophénantroline après minéralisation sulfonitroperchlorique (SHAPIRA et DREYFUS, 1958).

Le fer non héminique du foie fut extrait par une solution aqueuse de pyrophosphate de sodium à 4 p. 100 et dosé par la méthode à l'orthophénantroline (SHAPIRA et DREYFUS, 1958).

En vue d'une estimation de la réserve hépatique à la naissance, le fer non héminique fut déterminé sur les foies, d'une part, de veaux abattus à la naissance et, d'autre part, de fœtus de 9 mois mis à notre disposition par nos collègues de la Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants

## RÉSULTATS — DISCUSSION

### I. — Évolution du fer sanguin

1. *Évolution de l'hématocrite, du taux d'hémoglobine et du nombre d'hématies. Caractérisation de l'anémie.*

Les figures 1 et 2 montrent respectivement l'évolution de l'hématocrite et de la teneur du sang en hémoglobine entre une et dix semaines.

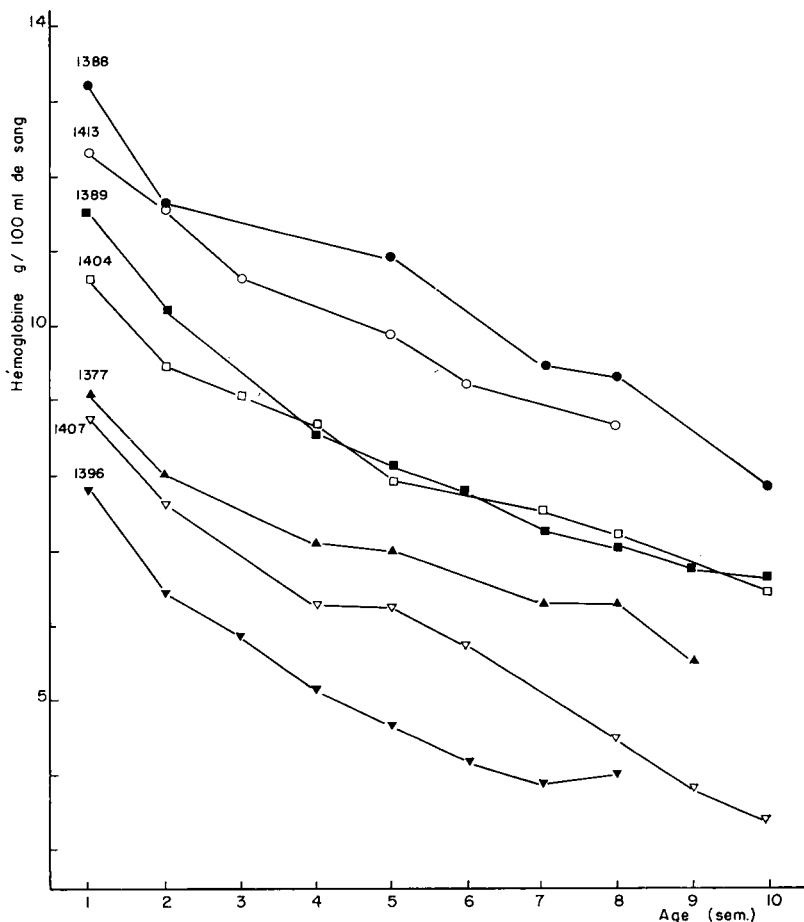


FIG. 1. — Variation du taux d'hémoglobine de quelques veaux en fonction de l'âge

De l'examen de ces différentes courbes, il ressort que :

1° Les valeurs initiales de l'hématocrite et de la teneur en hémoglobine présentent de très grandes variations individuelles. Les valeurs moyennes pour l'ensemble des animaux considérés dans cette étude sont, en effet, pour l'hématocrite de  $37,5 \text{ p. } 100 \pm 6,9$  et pour la teneur en hémoglobine, de  $10,60 \text{ g}/100 \text{ ml} \pm 2,03$ .

2° L'hématocrite et le taux d'hémoglobine diminuent avec l'âge des animaux. La diminution est relativement plus importante dans les 3 premières semaines.

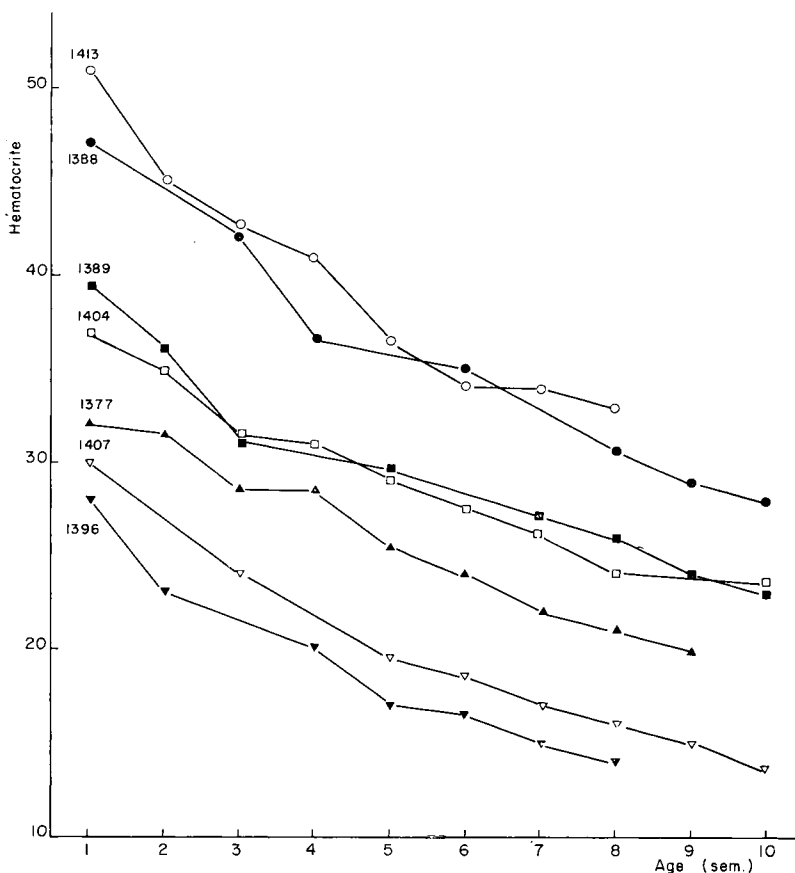


FIG. 2. — Variation de l'hématocrite de quelques veaux en fonction de l'âge

Les courbes représentant l'évolution de l'hématocrite sont, en première approximation, parallèles et il ne semble donc pas y avoir d'influence notable de la vitesse de croissance. Ceci tendrait, semble-t-il, à montrer que la diminution de l'hématocrite est plus imputable à un mécanisme physiologique fonction de l'âge qu'à l'effet de « dilution » résultant de l'accroissement pondéral. La différence que l'on peut obtenir dans les courbes d'évolution de l'hématocrite en fonction du poids pour les vitesses de croissance de 600 g et 1 200 g par jour (fig. 3) montre l'importance essentielle de l'âge dans le déterminisme de l'évolution des caractéristiques san-

guines pendant les premières semaines de la vie et dans le cas d'une alimentation lactée exclusive.

À l'appui de cette hypothèse, on peut remarquer que la chute de l'hématocrite se produit d'une façon semblable, quelle que soit la valeur initiale.

3° La valeur de l'hématocrite à l'abattage est en partie conditionnée par celle de l'hématocrite initial.

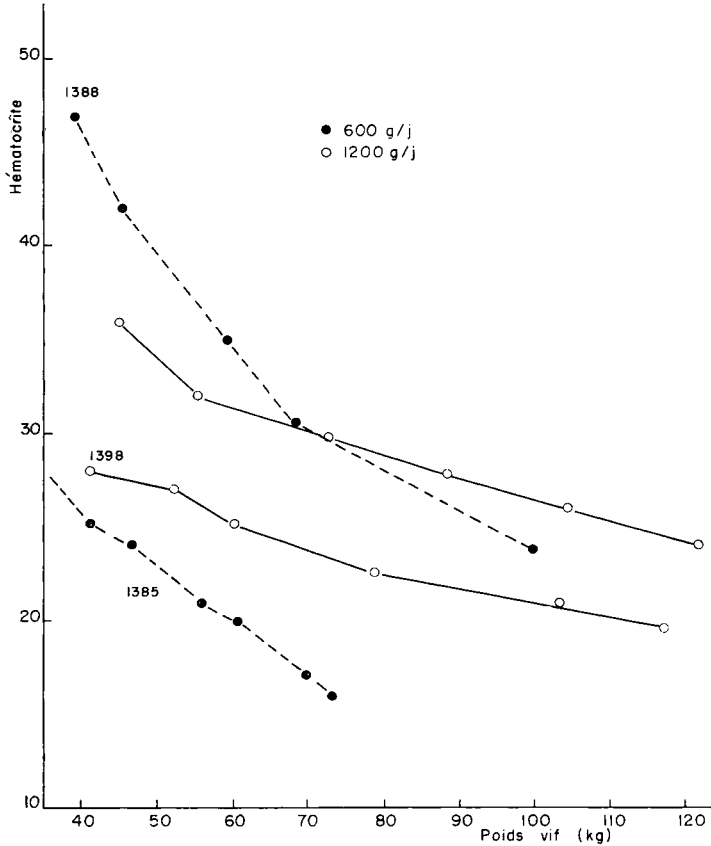


FIG. 3. — Variation de l'hématocrite en fonction du poids pour des animaux présentant des vitesses de croissance très différentes

La valeur du coefficient de corrélation entre l'hématocrite initial et l'hématocrite à l'abattage, quoique significative, est faible (tabl. 1). Ceci est dû au fait que les animaux ont été abattus à des âges et des poids très variables. Les coefficients de corrélation partiels (âge et poids constants) sont en effet nettement plus élevés. La valeur supérieure du coefficient de corrélation entre l'hématocrite à l'abattage et l'hématocrite initial, à âge constant d'abattage, confirme en outre l'importance du facteur âge.

La valeur du coefficient de corrélation obtenu entre la teneur en hémoglobine et l'hématocrite ( $r = 0,97$  pour 120 données) montre la très forte liaison qui existe entre ces deux variables.

L'équation de régression suivante permet d'obtenir la teneur en hémoglobine en fonction de l'hématocrite :

$$\text{hémoglobine (en g/100 ml de sang)} = 0,29 \text{ hématocrite (en p. 100)} - 0,15$$

TABLEAU I

*Coefficient de corrélation entre l'hématocrite à l'abattage, d'une part, et le taux d'hématocrite initial, le poids et l'âge, d'autre part*

Hématocrite à l'abattage	Coefficient de corrélation (1)
Poids .....	— 0,507
Age .....	— 0,501
Hématocrite initial .....	+ 0,563
Hématocrite initial (à poids constant d'abattage) ...	+ 0,662
Hématocrite initial (à âge constant) .....	+ 0,704
Poids (à hématocrite initial constant) .....	— 0,670
Age (à hématocrite initial constant) .....	— 0,554

(1) Seuil de signification à P : 0,01 = 0,449

La diminution de l'hématocrite avec l'âge s'accompagne donc d'une diminution proportionnelle de l'hémoglobine, ce qui laisse penser que l'anémie qui frappe le jeune veau alimenté exclusivement au lait pourrait être due :

a) soit à une diminution du nombre d'hématies, la teneur en hémoglobine de ces dernières restant constante ;

b) soit à une diminution de la taille des hématies et également de leur teneur en hémoglobine ;

c) soit encore à une action combinée des deux causes précédentes.

Le tableau 2 indique, à titre d'exemple, l'évolution des caractéristiques hématalogiques de deux veaux soumis à une alimentation lactée exclusive et qui, par ailleurs, présentaient des valeurs de l'hématocrite initial très différentes. Ces résultats montrent que ce type d'anémie se caractérise par :

— une relative constance du nombre d'hématies ;

— une diminution du volume globulaire moyen ;

— une relative constance également du taux d'hémoglobine par unité de volume globulaire.

Cette anémie s'apparente donc au type normochrome microcytique qui, dans de nombreuses espèces, est caractéristique de la période post-natale.

Ces résultats confirment pleinement ceux obtenus, également sur le veau, par BLAXTER, (1957).

Cette anémie correspondrait en quelque sorte à la première phase de l'anémie ferriprive du nourrisson mise en évidence par VAHLQUIST (1946), anémie purement

physiologique et générale qui est, ensuite, suivie d'une anémie de type hypochrome lorsque l'effet de la carence en fer commence effectivement à se manifester.

TABEAU 2

*Évolution des caractéristiques hématologiques du veau soumis à une alimentation lactée exclusive*

	Age en semaines	Hématocrite en pourcentage	Nombre d'hématies en millions par mm <sup>3</sup>	Volume globulaire moyen en microns cubes	Hémoglobine en g/100 ml de sang	Concentration moyenne en hémoglobine par unité de volume globulaire (en g/100 ml de globules)
Veau n° 2 461	1	49	9,2	53,2	13,8	28,1
	2	43	9,0	47,8	12,3	28,6
	3	37	9,2	40,2	10,8	29,1
	4	35	9,4	37,2	10,4	29,7
	5	33	9,3	35,5	9,3	28,2
	6	34	9,5	35,8	9,1	26,8
	7	33	9,5	34,7	8,9	27,0
	8	30	9,3	32,2	8,5	28,3
	9	29	9,6	30,2	8,3	28,6
	10	27	9,4	28,7	7,7	28,6
Veau n° 2 469	1	33	5,1	64,3	9,7	29,4
	2	28	4,9	58,0	8,0	28,6
	3	23,5	4,9	47,5	6,9	29,4
	4	21	4,6	46,2	6,2	29,5
	5	20	4,8	41,5	5,7	28,5
	6	19	4,8	39,7	5,3	27,9
	7	17,5	4,5	38,8	4,8	27,5
	8	16	4,5	35,5	4,5	28,1
	9	16	5,0	32,1	4,5	28,1
	10	30,2	5,1	28,4	4,4	

2. *Évolution de la quantité totale de fer sanguin.*

La variation de la quantité totale de fer dans le secteur sanguin résulte de l'action cumulée de deux facteurs :

- diminution du taux d'hémoglobine, donc de la teneur en fer du sang ;
- augmentation de la masse sanguine avec l'accroissement pondéral.

Si nous considérons, par exemple, le cas d'un veau pesant 40 kg à la naissance et 120 kg à l'abattage (avec une vitesse de croissance de 1 100 g par jour), nous pouvons admettre qu'en moyenne la teneur en hémoglobine du sang d'un tel veau est à la naissance de 10,6 g/100 ml de sang.

En adoptant pour le volume sanguin exprimé en litres la valeur de 6,1 p. 100 du poids vif exprimé en kg (HANSARD, 1959) et en considérant que la teneur en fer

de l'hémoglobine est de 0,34 p. 100, nous obtenons dans le cas précité une variation du fer sanguin total de :

$$0,34 \times 6,1 \times (120 \times 6,5 - 40 \times 10,6) = 740 \text{ mg de fer}$$

Il en résulte que, malgré la diminution de la teneur en fer du sang, par suite de l'accroissement du volume sanguin, la quantité globale de fer sanguin augmente néanmoins notablement.

## II. — Évolution du fer musculaire

### 1. Importance quantitative respective du fer musculaire total et du fer héminique.

Le fer musculaire total se divise en 2 fractions :

- héminique. Cette forme est responsable de la pigmentation du tissu musculaire ;
- non héminique, de nature encore mal connue.

La valeur élevée du coefficient de corrélation obtenu entre les teneurs en fer héminique et en fer total ( $r = 0,87$  pour 127 données) montre que l'intensité de la pigmentation musculaire est effectivement liée à l'importance de la quantité de fer présente dans le muscle.

TABLEAU 3

*Teneurs en fer héminique et en fer total d'un homogénat  
de l'ensemble des muscles de la carcasse*

Veau (n°)	Poids total muscles frais (kg)	Poids total muscles secs (kg)	Fer total en $\gamma/g$ de M.S. de l'homogénat	Fer total de la musculature (en mg)	Fer héminique en $\gamma/g$ de M.S. de l'homogénat	Fer héminique total (en mg)	Fer héminique Fer total (en %)
1 409	16,760	3,900	63,4	247,5	20,3	79,3	32,0
1 415	21,890	5,320	43,4	230,9	18,3	97,3	42,1
1 416	22,440	5,510	35,4	195,2	16,8	92,6	49,5
1 397	27,760	6,970	40,8	284,2	15,6	109,0	38,3
1 379	27,850	6,600	45,1	297,7	15,1	99,7	33,4
1 408	32,870	8,250	35,3	291,0	14,7	121,3	41,7
1 414	28,260	7,010	26,2	183,6	13,8	96,7	52,6
1 377	50,660	13,270	31,4	416,7	12,6	167,2	40,1
1 384	33,100	8,600	41,9	360,5	14,0	120,5	33,5
1 398	48,340	12,810	24,6	315,1	9,4	119,9	38,0
1 389	54,700	14,610	30,2	441,2	12,0	175,0	39,7
1 388	39,000	9,630	47,3	455,6	19,0	183,6	40,2
2 446	36,020	9,390	32,2	338,2	11,7	109,5	32,4
2 442	26,000	6,810	37,0	252,0	16,7	113,6	35,1
2 462	35,400	9,020	23,2	209,3	12,0	108,3	51,8
2 463	35,200	9,110	36,3	330,7	14,9	135,5	41,8
2 473	18,120	4,560	44,8	204,3	14,6	66,5	32,5
2 482	37,600	9,700	29,8	289,9	16,3	158,7	54,7

Le tableau 3 indique, pour les 18 animaux dont la musculature a été analysée dans son ensemble, les teneurs moyennes en fer musculaire total, en fer héminique et les quantités totales pour l'ensemble de la musculature.



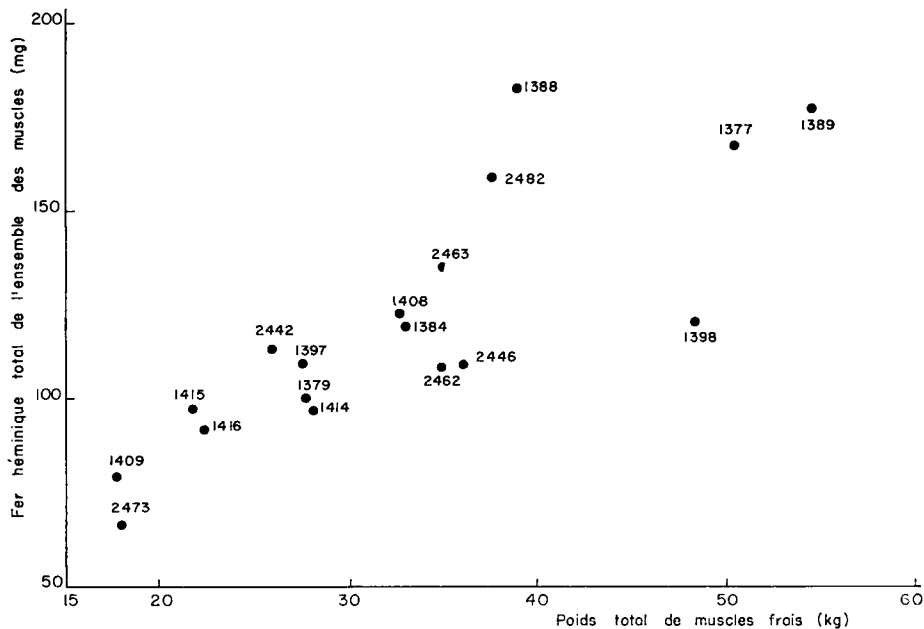


FIG. 4. — Importance de la quantité totale de fer musculaire héminique en fonction du poids de l'ensemble des muscles

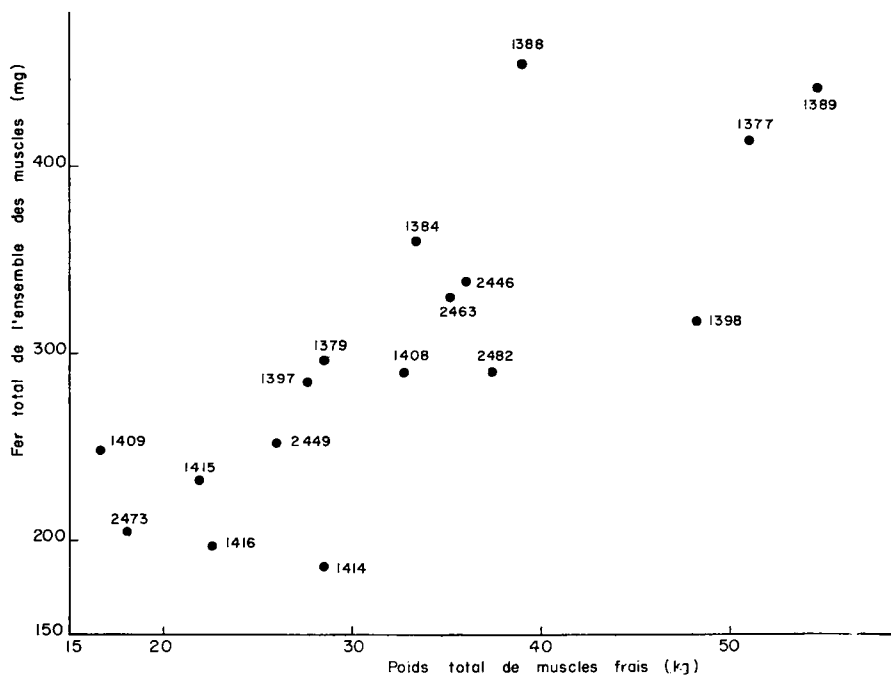


FIG. 5. — Importance de la quantité totale de fer musculaire (héminique et non héminique) en fonction du poids de l'ensemble des muscles

2. *Évolution du fer héminique musculaire au cours de la croissance pondérale.*

Les figures 4 et 5 montrent que si la teneur moyenne de la musculature en fer héminique et fer total diminue au fur et à mesure que le poids augmente, les quantités globales augmentent néanmoins avec l'augmentation du poids. Pour un animal pesant 40 kg à la naissance et 120 kg à l'abattage, les gains moyens de fer total et héminique de la musculature peuvent être estimés respectivement à 200 et 100 mg.

3. *Teneur en fer héminique du tissu musculaire en liaison avec le poids, l'âge et l'hématocrite.*

Les valeurs des coefficients de corrélation mentionnées dans le tableau 4 montrent l'existence d'une liaison entre la teneur en fer héminique des deux muscles considérés ou de l'homogénat musculaire total et, d'une part, l'hématocrite ultime et, d'autre part, l'hématocrite initial. Ces résultats apportent donc la preuve d'une

TABLEAU 4

*Coefficients de corrélation entre la teneur en fer héminique musculaire, d'une part, et le poids, l'âge et l'hématocrite, d'autre part*

Corrélation entre teneur en fer héminique musculaire et	Muscle <i>Rectus abdominis</i> (1)	Muscle <i>Adductor</i>	Homogénat musculaire total (2)
Hématocrite ultime	0,872	0,831	0,696
Hématocrite initial	0,366	0,521	0,570
Hématocrite initial (à âge d'abattage constant)	0,631	0,686	0,730
Hématocrite initial (à poids constant)	0,613	0,692	0,707
Poids	— 0,723	— 0,573	— 0,305
Poids (à hématocrite initial constant)	— 0,810	— 0,721	— 0,573
Age	— 0,728	— 0,552	— 0,187

(1) Seuil de signification à P : 0,01 = 0,470.

(2) Seuil de signification à P : 0,01 = 0,561.

relation entre l'intensité de la pigmentation musculaire et le degré d'anémie de l'animal. Compte tenu de la valeur de la corrélation précédemment observée entre hématocrite ultime et hématocrite initial, il était prévisible d'obtenir une liaison significative entre teneur en pigment et hématocrite initial, ce qui est effectivement le cas. Il est à noter que les coefficients de corrélation partiels à poids constant et à âge constant plus élevés indiquent que cette liaison est plus forte si l'on considère des animaux de même poids ou de même âge.

Le signe des coefficients de corrélation obtenus entre la teneur en fer héminique musculaire et, d'une part, l'âge et, d'autre part, le poids, montre que l'intensité de la pigmentation diminue au cours de la croissance. La teneur en fer héminique du muscle est donc, dans le cas d'une alimentation lactée exclusive, en partie condi-

TABEAU 5

Analyse de la régression de l'hématocrite initial (H) et du poids (p) sur la teneur en fer héminique musculaire (P)

	Muscle <i>Adductor</i>			Muscle <i>Rectus abdominis</i>		
	d. 1	Variance	Test F	d. 1	Variance	Test F
Régression de H .....	1	4,88	8,87	1	3,39	4,84
Erreur .....	25	0,55		25	0,70	
Régression de p .....	1	5,96	20,03	1	13,34	13,81
Régression de H après ajustement pour p .....	1	5,81		1	4,42	
Erreur .....	24	0,29		24	0,32	
Régression de p .....	1	5,96	11,68	1	13,34	27,22
Erreur .....	25	0,51		25	0,49	
Régression de H .....	1	4,88	23,75	1	3,39	44,90
Régression de p après ajustement pour H .....	1	6,89		1	14,37	
Erreur .....	24	0,29		24	0,32	

Signification au seuil de P 0,05 = 4,24(\*)

Signification au seuil de P 0,01 = 7,77(\*\*)

*Équations de régression*

P *Adductor* = 0,0811 H — 0,0194 p + 2,247

P *Rectus abdominis* = 0,0719 H — 0,0279 p + 2,78

P *Adductor* = 0,0826 H — 0,0115 p — 0,0104 A + 2,163

P *Rectus abdominis* = 0,0765 H — 0,0207 p — 0,0171 A + 3,069

A = âge en jours.

*Coefficients de régression partiels de régression partiels standard*

b'H *Adductor* = + 0,558

b'H *Rectus abdominis* = + 0,494

b'p *Adductor* = — 0,605

b'p *Rectus abdominis* = — 0,871

tionnée par l'importance du taux de fer sanguin à la naissance, par l'âge et par le poids de l'animal. L'analyse de régression de l'hématocrite initial et du poids sur la teneur en fer héminique des muscles *Adductor* et *Rectus abdominis* (tabl. 5) montre que les valeurs de l'hématocrite à la naissance et du poids exercent une influence sensiblement de même importance sur l'intensité de la pigmentation musculaire.

III. — *Évolution du fer hépatique*

Le fer hépatique comprend le fer de dépôt proprement dit de nature non héminique et le fer héminique des diverses hémines cellulaires. Nos résultats ne concernent que le fer non héminique, c'est-à-dire essentiellement le fer de réserve hépati-

que. Compte tenu de la variabilité des résultats en fonction des sites de prélèvements, il s'avère indispensable d'effectuer l'extraction à partir d'un échantillon obtenu après broyage de la totalité de l'organe.

Aussi, nous ne rapporterons que les résultats obtenus dans de telles conditions. Le tableau 6 montre que pour des animaux de 110 à 140 kg, la quantité totale de fer non hémérique est faible et présente une très faible variabilité.

TABLEAU 6

*Quantités totales de fer hépatique non hémérique de veaux de poids compris entre 110 et 140 kg*

Animal (n°)	Poids (kg)	Age (jours)	Quantité totale de fer hépatique non hémérique (mg)
1389	140	89	28,3
1377	127	69	28,8
1387	126	81	32,7
1398	123	82	29,7
1401	125	85	30,0
1395	112	80	22,8

Ces résultats confirment ceux obtenus par divers auteurs qui ont montré, chez différentes espèces, qu'au cours d'hyposidéroses expérimentales, le fer de réserve ne pouvait être abaissé au-delà d'un certain seuil (McCALL *et al.*, 1962 ; MORGAN, 1964).

L'importance de la réserve hépatique à la naissance a pu être précisée par des déterminations de fer non hémérique dans des foies provenant, d'une part, d'animaux abattus à la naissance et de fœtus âgés de 8 à 9 mois (tabl. 7).

TABLEAU 7

*Quantités totales de fer hépatique non hémérique de veaux à la naissance et de fœtus de 8 à 9 mois*

Animal (n°)	Poids (kg)	Age du fœtus (en mois et jours)	Quantité totale de fer hépatique non hémérique (mg)
3895	41	naissance	510
3898	43	naissance	447
S N	38	naissance	226
S N	46	naissance	478
F 1	32	8 m 20 j	490
F 2	37	8 m	240
F 3	44	8 m 15 j	398
F 4	38,5	8 m 8 j	384
F 5	42	8 m 25 j	540
F 6	38	8 m	362

Ces valeurs montrent que la réserve hépatique accumulée lors de la gestation peut varier dans de notables proportions. Il convient en outre de signaler que plusieurs animaux morts dans les jours qui suivirent leur achat possédaient une quantité totale de fer hépatique non hémunique très faible (de 20 à 40 mg). Le foie de ces animaux présentait d'ailleurs une coloration anormalement pâle. Il est donc certain que, de même qu'il existe de grandes différences dans le taux initial d'hémoglobine, il existe une grande variabilité dans l'importance de la réserve hépatique à la naissance.

En effet, selon HALLGREN (1953), l'importance du fer de réserve dans un organe tel que le foie ou la rate est en liaison avec celle du fer sanguin et du fer musculaire.

Dans le cas d'une alimentation lactée exclusive, cette réserve s'épuise lors de la croissance et la déplétion est presque complète lorsque l'animal atteint un poids de 140 kg environ. La contribution de l'apport hépatique, manifestement très variable, se situe donc entre 200 et 500 mg de fer.

Cette variabilité des teneurs en fer des animaux à la naissance peut, semble-t-il, être imputable à des facteurs nutritionnels et à des facteurs génétiques. A l'appui de la première hypothèse, on peut noter que chez le rat une alimentation ferriprive (ALT, 1938), ou une hyposidérose expérimentale des femelles gestantes entraîne une diminution de la teneur en fer de leurs produits (NYLANDER, 1953). Bien que dans le cas des bovins l'éventualité de carences en fer puisse paraître faible (de VUYST et *al.*, 1959), il semble néanmoins que dans certaines régions, elle doive être prise en considération (ROY et *al.*, 1964).

Il paraît également concevable d'invoquer des causes d'ordre génétique. En effet, chez d'autres espèces, des anémies héréditaires ont été mises en évidence (LUNDEHOLM, 1939), (ZETTERSTRÖM et DELAVA, 1955). L'étude systématique du taux d'hémoglobine des vaches en fonction des teneurs en fer des aliments ingérés mériterait d'être entreprise. Elle pourrait constituer éventuellement un des éléments de l'objectivation de la notion très répandue de « crus de veaux blancs ». Il serait également intéressant d'étudier l'héritabilité des taux d'hématocrite et d'hémoglobine. Dans l'éventualité de résultats positifs, la détermination du taux d'hématocrite pourrait alors constituer un test simple susceptible d'être utilisé pour la sélection des reproducteurs destinés à la production du veau de boucherie.

#### IV. — Importance de l'apport alimentaire

Dans le cas d'un régime lacté exclusif, la quantité totale de fer absorbée par l'animal dépend à la fois de la teneur en fer du lait, de la quantité de lait consommée et du coefficient d'absorption du fer. Les résultats obtenus lors de cette expérience nous permettent d'évaluer uniquement les deux premiers paramètres.

La teneur en fer du lait distribué au cours de cette expérience présentait des variations journalières importantes (0,35 mg/litre — 1,20 mg/litre). La teneur moyenne était de  $0,62 \pm 0,19$  mg/litre. Il convient de souligner que, dans le cas des laits de remplacement, la variabilité des teneurs en fer peut être notablement plus importante. En effet, la teneur en fer de l'eau utilisée lors de la reconstitution de ces laits peut atteindre dans certaines régions des valeurs de 15 à 20 mg/litre (CHARPENTIER, résultats non publiés).

Comme le montre le tableau 8, les quantités de lait consommées et, par conséquent, les apports de fer alimentaire, varient en fonction de la vitesse de croissance. L'amplitude de la variation est toutefois assez faible et souvent masquée par des différences individuelles. Pour un animal gagnant de 1 000 à 1 200 grammes par jour, l'indice de consommation est de l'ordre de 10 litres par kg de gain. La consommation totale de lait d'un animal pesant 40 kg à la naissance et 120 kg à l'abattage est donc d'environ 800 litres. L'apport de fer alimentaire est, dans ce cas, de l'ordre de 480 mg. Bien que le lait soit un aliment pauvre en fer, il n'en constitue pas moins une source d'apport non négligeable. Le fer effectivement résorbable ne représente toutefois qu'une fraction du fer total.

TABLEAU 8  
*Importance de l'apport alimentaire de fer*

Animal (n°)	Poids à l'abattage (en kg)	Poids en début d'expérience (en kg)	Vitesse de croissance (en g/j)	Quantité de lait consommé (en l)	Litres de lait par kg de gain	Fer alimentaire total (en mg)
3 796	405	37	654	906	13,34	561
3 787	406	49	504	771	13,53	478
1 395	412	34	1 026	712	9,43	441
3 788	420	52	601	752	14,06	466
1 398	423	41	1 051	829	10,10	514
1 401	425	43	1 000	750	9,45	465
1 387	426	43	1 078	812	9,78	503
1 377	427	51	1 169	749	9,84	464
3 789	434	38	600	1 183	12,82	733
3 790	440	40	598	1 186	11,86	735
1 389	440	42	1 153	969	9,88	600

Pour évaluer avec quelque précision le coefficient d'absorption du fer alimentaire, il s'avère indispensable d'utiliser le fer radioactif en dosant la quantité ingérée et la quantité excrétée. En effet, la méthode des bilans à l'aide du fer non radioactif est extrêmement laborieuse et difficile, le dosage dans les fèces se heurtant à de nombreux obstacles du fait de l'abondance de sels minéraux. L'utilisation du fer radioactif présenterait par ailleurs l'avantage de pouvoir déterminer quelle fraction du fer alimentaire est utilisée pour la synthèse de la myoglobine et quelle est la durée nécessaire à l'incorporation du fer dans cette chromoprotéine. D'un point de vue pratique, une telle étude permettrait de préciser quelles sont effectivement les conséquences d'une alimentation non ferriprive sur la coloration de la viande dans le cas du veau de boucherie.

Dans l'espèce humaine, le coefficient d'absorption digestive du fer du lait est estimé à environ 50 p. 100 (HEMMELE, 1951). En adoptant cette même valeur, dans le cas du veau, l'apport de fer dû à l'alimentation lactée serait donc de l'ordre de 250 mg pour un veau abattu au poids de 120 kg. L'apport alimentaire semble donc en toute première approximation être d'une importance analogue à celui de l'apport hépatique. L'importance de chaque source de fer devra néanmoins être

précisée au cours d'expériences ultérieures. L'injection de fer radioactif à des vaches en gestation permettrait vraisemblablement de préciser les modalités du passage du fer de la mère au fœtus et de connaître la part relative du fer de réserve et du fer alimentaire dans l'élaboration du fer héminique musculaire du veau dans les premiers mois de sa vie. Ainsi la mesure de l'activité spécifique du fer de la myoglobine chez des animaux d'âge variable devrait permettre de connaître le degré d'utilisation du fer de réserve pour la synthèse de la myoglobine. En effet, l'activité spécifique du fer de la myoglobine devrait diminuer avec une vitesse liée au taux d'utilisation du fer alimentaire.

### CONCLUSION

En conclusion, l'intensité de la pigmentation musculaire du veau de boucherie dépend pour une grande part de l'importance des réserves de fer accumulées lors de la gestation et de leur degré de dilution dans les muscles par suite de l'accroissement pondéral. Il convient donc d'étudier l'incidence de l'importance de ces réserves sur les performances de croissance de l'animal et de préciser les différents facteurs qui interviennent lors de leur élaboration prénatale. Il s'avère difficile d'évaluer d'une façon précise l'importance de l'apport alimentaire, étant donné que la fraction du fer du lait effectivement absorbée n'est pas connue. Les modalités de l'absorption du fer alimentaire et leurs incidences sur la pigmentation musculaire du veau devront donc être précisées au cours de prochaines expériences.

*Reçu pour publication en mars 1966.*

### SUMMARY

#### COLOUR IN MUSCLE OF VEAL CALVES

##### I. — CAUSES OF VARIATION

The preliminary study of causes of variations in colour of muscles of calves fed exclusively on milk was made on 31 *French Friesian* calves in 2 groups maintained at rates of growth of 600 and 1 100 grammes daily and killed at different ages between birth and 12 weeks of age.

Intensity of colour of muscle was studied from content of haem iron in *Adductor* and *Rectus abdominis* muscles. Similarly the haem iron content of the total musculature was estimated after grinding and homogenizing all the muscles.

The existence of a close relation between the haematocrit value (percentage by volume of red cells in blood) before slaughter and the content of haem iron muscle tissue (table 4) shows that the intensity of colour of muscle is related to the degree of anaemia in the calf.

Study of changes in haematocrit and Hb value show also, on the one hand that these characters vary greatly from birth and on the other that the anaemia is of the microcytic normochromic type. The degree of colour in muscle is related to the initial value for haematocrit or the Hb value (table 4.) Difference in iron content of blood of animal from an early age can only be a reflection of a similar difference in other parts of the organism, particularly liver and muscle. Study of change in the total amount of iron in different parts of the organism show that in calves fed exclusively on milk and in production of an animal of 120 to 140 kg there is almost total depletion of the reserves in liver and an increase in blood and muscle, and despite this a large reduction of iron content of these tissues in relation to unit liveweight (fig. 4 and 5).

The amount of the reserve in liver is very variable since the iron content of the liver lies between 240 and 540 mg. For a calf weighing 40 kg at birth and 120 kg at slaughter the average increase of total iron and haem iron in musculature may be estimated respectively at 200 and 100 mg. In contrast the iron content of muscle tissue, and particularly the haem iron content, the direct cause of muscle pigmentation, diminishes during growth of the animal. Regression analysis of initial haematocrit and of weight on haem iron content of muscle shows that each of these factors has an effect, both of the same order of magnitude. The increase of total iron in blood and muscle is explained by the depletion of the liver reserve and the intake from feed. In spite of the very small iron content of milk, the intake from the feed is nevertheless considerable. In the conditions of this experiment this intake was of the order of 500 to 750 mg. That amount depends on the iron content and on the amount of milk consumed. The amount effectively absorbed would be particularly worth studying.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier nos collègues de la Station de Recherches sur l'Élevage des Ruminants pour l'aide matérielle qu'ils nous ont apportée dans la réalisation de cette expérience.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALT H. L., 1938. Iron deficiency in pregnant rats, its effect on the young. *Amer. J. Dis. Child.*, **56**, 975-984.
- BLAXTER K. L., 1957. Iron deficiency anaemia in calves. *Brit. J. Nutr.*, **11**, 234-246.
- DE VUYST A., ARNOULD R., VAN BELLE M., BLANJEAN G., VERVACK W., MOREELS A., 1959. Étude de la teneur en fer des aliments du bétail et son importance en nutrition animale. *Zootech.*, **8**, 82-103.
- HALLGREN B., 1953. Haemoglobin formation and storage iron in protein deficiency. *Acta Soc. Med. Uppsala.*, **59**, 79-208.
- HANSARD S. L., 1959. The physiological behavior of iron in the calf. *J. Dairy Sci.*, **42**, 1970-1976.
- HEMMELE G., 1951. *Métabolisme du fer*. Masson et C<sup>ie</sup>, Paris.
- HENRY R., 1945. Technique de dosage du fer sanguin. *Ann. Biol. Chim.*, **3**, 101-105.
- HORNSEY H. C., 1956. The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.*, **7**, 534-540.
- LUNDEHOLM I., 1939. Hereditary hypochromic anemia. A clinical study. *Acta Med. Scand.*, suppl. 102.
- MCCALL M. G., NEWMAN G. E., O'BRIEN J. R. P., WITTS L. J., 1962. Studies in iron metabolism. 2. The effects of experimental iron deficiency in the growing rat. *Brit. J. Nutr.*, **16**, 305-323.
- MORGAN E. H., 1964. Iron deficiency. Experimental hypsiderosis. *International Symposium CIBA*, 185-200, Springer ed.
- NYLANDER G., 1953. On the placental transfer of iron. An experimental study in the rat. *Acta Physiol. Scand.*, **29**, suppl., 107.
- ROY J. B. II., HELEN J. G., SHILLAM K. W. G., THOMPSON S. Y., STOBO I. J. F., GREATORREX J. C., 1964. The nutrition of the veal calf. *Brit. J. Nutr.*, **18**, 467-502.
- SHAPIRA G., DREYFUS J. C., 1958. Le Fer. *Exp. Sci. Fr.*, Paris.
- VAHLQUIST B., 1946. Formule sanguine chez des nourrissons normaux traités par le fer. *Nord. Med.*, **30**, 1101-1105.
- ZETTERSTRÖM R., DELAVA S., 1955. Refractory sideropenic anemia in childhood due to an error of iron metabolism. *Blood.*, **12**, 1246-1250.