

Variation intra et intermuscles de la force de cisaillement de la viande de boeuf

B.L. DUMONT

Laboratoire de Recherches sur la viande de l'I.N.R.A., C.N.R.Z., 78350 Jouy en Josas, France

Introduction

La mesure instrumentale de la texture de la viande repose, à l'aide des différents types d'appareils proposés à cet effet (cf. PEARSON(1963), SZCZESNIAK (1973) et VOISEY (1976)), sur l'enregistrement des déformations qu'elle subit sous l'influence de contraintes de différentes natures et sur la détermination des grandeurs qui y sont liées.

La force nécessaire pour trancher un échantillon de viande a été ainsi le premier caractère retenu par LEHMANN qui, dès 1907, suggérait l'emploi du "Dexometer". Par la suite différents appareils ont été proposés pour mesurer la force de tranchage, généralement considérée comme une force de cisaillement, même si dans les appareils qui "cisailent" la viande, les phénomènes en cause sont pour les rhéologues la résultante d'efforts de cisaillement vrai et de contraintes de compression et de tension. C'est le cas en particulier, selon FINNEY (1973), de l'appareil de WARNER et BRATZLER.

Les appareils de cisaillement sont encore de loin les plus utilisés actuellement dans les différentes études concernant la tendreté de la viande (MORELLI 1980) ; leur succès tient sans doute à la simplicité apparente de leur fonctionnement et à la nature de la mesure qu'ils réalisent. Les résultats qu'ils fournissent servent à définir simplement et globalement la consistance des muscles (crus ou cuits) et permettent ainsi de caractériser rapidement l'effet des facteurs de variation étudiés.

A ce titre la mesure des forces de cisaillement de la viande crue fait partie des contrôles systématiques de qualité pratiqués dans notre laboratoire sur les bovins, soit pour contrôler les performances de différents types de production, soit pour étudier les effets de traitements technologiques. Le présent travail rapporte les principaux résultats fournis par ces contrôles et discute l'intérêt qu'ils peuvent présenter, dans l'immédiat, pour la qualification des viandes et, dans l'avenir, pour l'amélioration de la tendreté des viandes.

Matériel et méthodes

Au cours des différents essais (N=11), la force de cisaillement des échantillons de viande a été mesurée sur un nombre variable de muscles (2 à 27 selon le cas) et à l'aide de l'un ou l'autre des trois appareils de cisaillement suivants :

- le WARNER-BRATZLER shear force apparatus (WB), utilisant des échantillons cylindriques de 12,7mm de diamètre ;
- l'appareil de CREUZOT et DUMONT (CD), utilisant des échantillons cylindriques de 11,9 mm de diamètre et de 10 mm de long qui sont tranchés dans une chambre de cisaillement close ;
- l'appareil de SALÉ (1971), utilisant des échantillons parallépipédiques de 10 mm de largeur.

Le tableau I indique les principales caractéristiques du matériel expérimental utilisé, en ce qui concerne le type zootechnique des animaux et la nature des muscles, choisis parmi l'un ou l'autre des muscles suivants :

Adductor (1)	gluteobiceps (3 sites:2,3,4)	gluteus medius (5)
infraspinalis (6)	longissimus lumborum (2 sites:7,8)	longissimus thoracis (9)
pectoralis profundus (3sites: 10,11,12)	psoas major (2 sites de prises: 13,14)	rectus abdominis (15)
rectus femoris (16)	rhomboïdeus (17)	semimembranosus (3 sites:18,19,20)
semispinalis capitis (21)	semitendinosus (3sites:22,23,24)	serratus ventralis (25)
spinalis et semispinalis (26)	splenius cervicis (27)	supraspinatus (28)
tensor fasciae latae (29)	teres major (30)	triceps brachii caput laterale (31)
triceps brachii caput longum (32)	vastus lateralis (33)	

TABLEAU I

N° de l'essai (Trial)	Type d'animaux (type of cattle)	Muscles étudiés (Muscles studied) nombre nature (number) (type)	nombre d'animaux (number of animals)	Appareil utilisé (shearing device)	Variation de VM (VM range)	Variation de VI (VI range)
1	vaches de réforme de races laitières	10 1,7,10,13,17,23,27,30,31,32	13	WB	21,8 à 36,7	6,1 à 52,3
2	Taurillons de races laitières (18 mois)	14 1,6,7,10,13,17,21,23,25,27,28,30,31,32	18	WB	23,1 à 32,8	13,0 à 53,4
3	Boeuf de boucherie de différentes races	10 1,7,10,13,17,23,27,30,31,32	8	WB	28,6 à 55,8	11,5 à 102,0
4	Vaches de réforme (races à viande)	2 9, 10	34	WB	32,5 à 33,3	18,9 à 61,1
5	Vaches de réforme (races laitières)	2 9,10	14	WB	29,2 à 34,8	21,5 à 54,0
6	Taurillons de races laitières	2 9,10	130	WB	26,6 à 32,6	8,4 à 57,8
7	Vaches de réforme (races à viande)	2 9,10	34	S	24,3 à 29,1	13,9 à 48,2
8	Vaches de réforme (races laitières)	2 9,10	14	S	27,0 à 31,1	9,2 à 43,3
9	Taurillons de races laitières	2 9,10	130	S	22,7 à 30,0	10,5 à 49,8
10	Boeufs de boucherie de différentes races	10 1,7,10,13,17,23,27,30,31,32	8	CD	16,5 à 29,2	4,3 à 73,2
11	Boeufs et vaches de différentes races	27 1 à 6;8,11,12; 14 à 26;28,29 31,32,33	8	CD	23,2 à 39,8	12,2 à 69,3

Sur chaque essai les échantillons ont été prélevés sur les muscles, après conservation de 7 à 8 jours post mortem à 0,+2°C. Le prélèvement était réalisé sur des tranches de muscle, de 10 à 30 mm d'épaisseur selon les muscles, localisées à des niveaux anatomiques identiques pour chaque muscle retenu dans un essai donné et autant qu'il était possible selon une direction générale perpendiculaire à l'orientation moyenne des fibres musculaires (à l'exception du muscle longissimus -lumborum ou thoracis- dont les tranches ont été coupées perpendiculairement à la colonne vertébrale).

Pour chaque muscle on procédait avec un emporte pièce à l'excision des éprouvettes destinées au WB et au CD, et au bis-bis pour celles destinées à l'appareil de SALÉ (S). L'emplacement des prélèvements était déterminé simplement de manière à ce que d'une part ils correspondent à du seul tissu musculaire (fibres musculaires +perimysium) et d'autre part, ils soient régulièrement distribués dans les différentes parties de la tranche du muscle. Les valeurs individuelles des forces de cisaillement de chaque éprouvette étaient relevées sur les dynamomètres des appareils WB et CD et sur bande enregistreuse dans le cas de S. On ramenait ces valeurs à la surface de section des éprouvettes et l'indice individuel de cisaillement (IC) était exprimé en $N.cm^{-2}$. Pour chaque muscle on a calculé la valeur moyenne des IC (soit MC) et sa dispersion (SC). Les coefficients (VI) de variation ($100 \times \frac{SC}{MC}$) ont été retenus pour caractériser la variabilité intramuscle. Les mêmes calculs ont été faits pour déterminer la valeur moyenne (VM), par type de muscle, des coefficients de variation VI et sa dispersion (SM).

Variabilité intramuscle

Le tableau I indique l'intervalle de variation, enregistré entre muscles, pour VM. Il indique également les valeurs extrêmes, enregistrées sur l'ensemble des muscles considérés dans l'essai, des coefficients VI. On voit que, quel que soit l'essai, il existe dans l'ensemble une variabilité importante dans les forces de cisaillement qui en moyenne, tous essais confondus, est de l'ordre de 30 pour cent.

TABLEAU II

Muscle	Essai (Trial)	Valeur des VM (VM values)		Intervalle de variation des VI (VI range)	
		S	WB	S	WB
Longissimus thoracis	4 et 7	29,1	33,3	16,3 - 45,9	23,7 - 48,6
	5 et 8	31,1	29,2	17,8 - 43,3	21,5 - 54,0
	6 et 9	30,0	32,6	14,8 - 49,8	15,8 - 57,8
Pectoralis profundus	4 et 7	24,3	32,5	13,9 - 48,2	18,9 - 61,1
	5 et 8	27,0	34,8	9,2 - 39,3	24,8 - 46,6
	6 et 9	22,7	26,6	10,5 - 36,7	8,4 - 52,5

Pour le même type de muscle la variabilité n'est pas la même selon les appareils de mesure. Il est possible de comparer entre eux les résultats des essais 3 et 10, 4 et 7, 5 et 8, 6 et 9 qui concernent, par paire, le même matériel animal mesuré par deux types d'appareils. On voit (Tableau II) que l'appareil de SALÉ conduit, pour les deux muscles étudiés, à des variabilités plus faibles que le WB. Il en est de même pour l'appareil de CREUZOT-DUMONT par rapport au WB (cf. Tableau III). Dans tous les cas on note également que, sans être identique pour tous les muscles, le taux de réduction de la variabilité est assez voisin (et de l'ordre de 55 pour cent).

TABLEAU III

Valeur des VM (VM values)

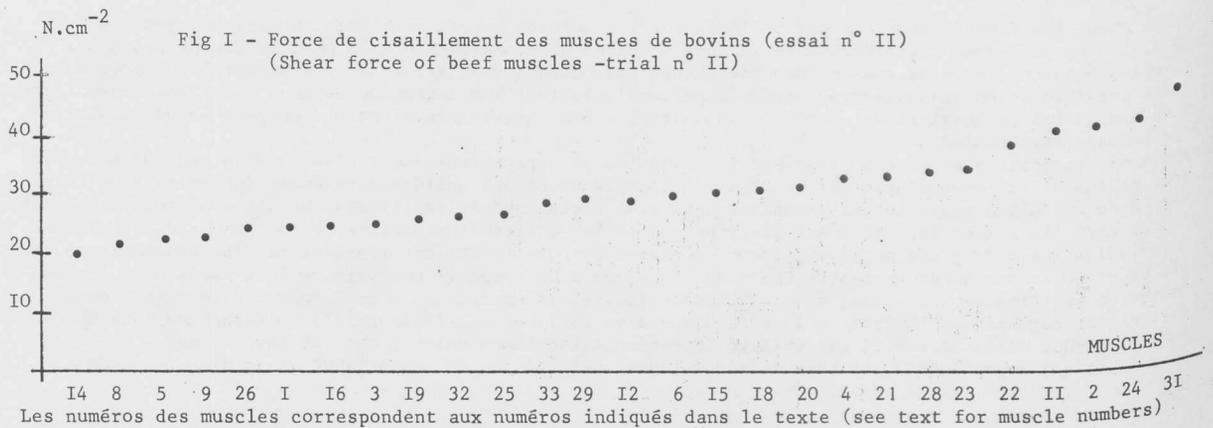
Muscle	WB	CD	Muscle	WB	CD
Longissimus lumborum	55,8	28,2	Teres major	36,6	25,7
Pectoralis profundus	38,6	18,0	T.brachii caput longum	37,6	21,3
Adductor	48,8	26,6	Rhomboïdeus	28,6	16,5
Semitendinosus	40,9	25,1	Splenius	30,8	21,1
Psoas major	41,2	29,2	T.brachii caput laterale	41,4	19,1

Variabilité intermuscles

1. Intra-animal
Il existe entre muscles d'un même animal des différences importantes dans la valeur des forces de cisaillement (Tableau IV et fig.1). Le tableau IV indique l'importance de l'écart relatif observé, au niveau des moyennes, entre le muscle le plus dur et le muscle le plus tendre de chaque essai. La figure 1 précise les valeurs moyennes des forces de cisaillement des 27 niveaux musculaires observés dans l'essai II.

TABLEAU IV

Essai (Trial)	Appareil (Device)	Variation de MC (Range of average shear forces)
1	WB	18,4 - 59,3 $N.cm^{-2}$
2	WB	23,6 - 69,1 $N.cm^{-2}$
3	WB	14,2 - 64,3 $N.cm^{-2}$
10	CD	11,9 - 31,3 $N.cm^{-2}$
11	CD	18,7 - 45,3 $N.cm^{-2}$



2.2. Inter-animaux

Pour un même type de muscle on enregistre, dans les différents essais, une variabilité importante des forces de cisaillement. Le tableau V précise pour quelques muscles l'amplitude de la variation observée. Dans tous les essais on note aussi qu'il existe entre animaux des différences dans l'amplitude de la variation constatée entre muscles. Ainsi le rapport de la force de cisaillement du T.brachii caput laterale à celle du Psoas major varie-t-il sensiblement intra-essai (respectivement dans les essais I, 2, 3, IO et II, de 1,8 à 4,1, de 1,6 à 5,1, de 3,1 à 10,6, de 2,3 à 3,0 et de 1,8 à 3,2).

TABLEAU V
Valeurs extrêmes des forces de cisaillement (Range of shear forces) (N.cm⁻²)

Muscle	Essai I	Essai 2	Essai 3	Essai IO	Essai II
Adductor	10,1 24,3	15,2 40,3	10,3 22,8	13,2 25,8	20,0 28,7
Psoas major	13,7 23,6	15,5 34,0	7,1 19,8	6,1 15,6	14,4 24,1
Semitendinosus	31,5 54,8	35,4 61,4	19,3 61,7	14,1 29,7	34,1 41,2
Pectoralis profundus	30,9 93,6	47,6 117,9	20,4 79,4	22,8 33,4	30,2 49,3
T.brachii caput later.	34,1 100,6	45,4 104,5	43,9 95,1	18,1 38,3	38,8 56,6

Discussion générale

Plusieurs raisons peuvent expliquer la variabilité considérable enregistrée intramuscle:

- la variation apportée dans la réalisation des éprouvettes,
- l'effet de l'appareil de cisaillement,
- l'hétérogénéité de la viande.

Les irrégularités dans la confection des éprouvettes sont liées aux opérateurs et peuvent conduire à des échantillons dont les dimensions (diamètre et périmètre de la section soumise au cisaillement) ne sont pas rigoureusement identiques. Le comportement visco-élastique de la viande, qui dépend lui-même de la température, gêne la réalisation d'éprouvettes de dimensions uniformes et faciles à extraire à l'aide d'un emporte-pièce. Il est aussi délicat de réaliser, dans le cas de l'appareil S, des éprouvettes rigoureusement parallépipédiques, aux dimensions souhaitées. Malgré les instructions données aux opérateurs et l'expérience qu'ils avaient, chacun, dans les différents essais, de la pratique de la confection des éprouvettes, nous ne pouvons pas affirmer que les éprouvettes étaient rigoureusement équivalentes et cette incertitude est une cause vraisemblable d'explication de la variabilité constatée, compte-tenu de l'influence de la surface de section sur la force nécessaire au cisaillement (DAVEY et GILBERT 1969). Ces observations militent en faveur de la prescription de règles strictes, intra-essai, pour la confection d'éprouvettes uniformes et surtout pour la mise au point d'un matériel adéquat de prélèvement.

L'hétérogénéité du tissu musculaire est une explication très plausible de la variabilité observée intramuscle. On sait maintenant qu'il existe, en effet, une grande diversité dans l'agencement spatial de la trame périmyosiale (cf. SCHMITT et al. 1979). Il y aurait lieu d'analyser quelles sont les relations existant entre les structures conjonctives intra-échantillon et la force de cisaillement. De telles études doivent concerner non seulement l'agencement morpho-anatomique de la trame périmyosiale, mais aussi la composition de ses constituants et spécialement le degré de réticulation du collagène (LIGHT et BAILEY 1979).

Les conséquences des variations de consistance des éprouvettes peuvent être diversement ressenties par les différents systèmes de cisaillement utilisés dans chaque type d'appareil. Le cisaillement des échantillons relativement libres dans l'appareil WB conduit à des déformations variées qui résultent des déplacements latéraux subis par les éprouvettes en cours d'opération. Le maintien des échantillons dans le cas de l'appareil S et, surtout, dans le cas de l'appareil CD, où la cellule de travail impose des dimensions constantes à l'éprouvette pendant le cisaillement, est de nature à expliquer la réduction de la variabilité observée en moyenne avec ces deux appareils, comparativement à ce qu'on enregistre avec le WB.

Quoi qu'il en soit les différentes valeurs des forces de cisaillement des éprouvettes individuelles permettent d'établir à partir de leur valeur moyenne un indice moyen de cisaillement dont la valeur significative, au niveau des comparaisons (entre muscles, entre animaux) dépend de la variabilité qui l'accompagne et le détermine. Celle-ci doit être appréciée en fonction du nombre des éprouvettes.

Le nombre des échantillons qu'on peut extraire d'un muscle est fonction de la surface de section. A imposer un effectif suffisant (e.g. $N > 5$ ou 6), on limite nécessairement le nombre de muscles susceptibles d'être étudiés. Dans le cas des muscles importants le nombre des échantillons prélevables peut atteindre et même dépasser largement 10, ce qui paraît être dans la plupart des cas suffisant pour affermir la valeur de la moyenne (DUMONT 1981).

utilisation de la déviation standard et, de là, du coefficient de variation pour apprécier la variabilité de la distribution des valeurs des forces de cisaillement réponde à une loi normale. Les difficultés de la vérification rapide de cette hypothèse peuvent conduire dans des essais pratiques de contrôle de routine à substituer à la valeur moyenne arithmétique, pour caractériser l'ensemble des forces de cisaillement intramusculaire, un autre paramètre et spécialement la médiane. La grande dispersion des résultats parfois enregistrée sur muscle s'explique souvent par la présence de valeurs nettement plus fortes que l'on peut considérer comme normales, d'un point de vue statistique, "anormales". La possibilité de leur détection par des tests appropriés (MAGNELIE 1970) et de leur élimination des calculs ultérieurs ne résoud pas, pour autant, le problème de la qualification réelle de leur présence dans la viande, au plan de la dureté et de l'hétérogénéité des viandes étudiées.

La localisation intramusculaire des échantillons est de nature à intervenir sur la variabilité. Il est clair, en particulier, que le prélèvement d'échantillons incluant des parties d'aponévroses internes ou de gros vaisseaux sanguins conduit pour les éprouvettes correspondantes à des forces de cisaillement généralement très élevées et sont caractérisables, statistiquement parlant, comme des valeurs "anormales". C'est pourquoi les prélèvements d'éprouvettes doivent se faire en dehors de ces éléments.

Compte-tenu des variations de forme et de dimensions existant à un niveau anatomique identique entre muscles, compte-tenu aussi de la présence d'éventuelles aponévroses internes et de lames conjonctives transversales, il est impossible d'imposer une carte rigide de prélèvements valable d'un animal à l'autre pour les muscles d'un type donné. Une distribution aléatoire mais uniforme des prélèvements des échantillons au sein du muscle est souhaitable pour obtenir au niveau de la moyenne une valeur représentative de l'ensemble.

La variabilité enregistrée entre muscles dans l'indice moyen de cisaillement reflète l'existence d'une hétérogénéité importante dans la constitution des différents muscles de la carcasse. Cette hétérogénéité a pour base essentielle celle de la trame conjonctive périmysiale dont l'importance, révélée par la teneur en collagène, est, par exemple, dans l'essai 3, selon les animaux, de 63 à 85 pour cent de la variation de la force de cisaillement intermuscles et intra-animal.

Il faut donc s'interroger, d'autre part, sur les causes et les conséquences de la variabilité importante constatée entre animaux pour un type donné de muscle. L'ampleur des différences tient sans doute à la grande diversité d'origine des carcasses étudiées, qui venaient d'animaux de différents sexes et de races d'aptitudes diverses. La variabilité créée par ces facteurs dans le poids de la carcasse, la conformation et l'état d'engraissement doit expliquer en partie les différences observées. Ce point est en cours d'étude dans notre laboratoire. Pour l'instant, il apparaît que la conformation peut être un facteur essentiel d'explication dans la mesure où elle détermine la teneur relative des différents muscles en collagène (DUMONT 1977).

Les essais réalisés dans notre laboratoire nous ont clairement montré que la note de tendreté accordée par les consommateurs de dégustation est liée négativement à la force de cisaillement des échantillons crus et qu'en dessous d'une valeur seuil minimale la viande n'est plus considérée comme acceptable au plan de la tendreté. Ceci est en accord avec de nombreux résultats de la littérature. Dans ces conditions on peut avancer que les origines des animaux la part de la musculature susceptible de présenter une tendreté suffisante pour être acceptée par les consommateurs comme grillades peut être plus ou moins importante, ce qui entraîne, d'un

point de vue, à l'autre, des valeurs d'utilisation des carcasses très différentes. Cette situation intéresse tout spécialement les marchés de pays comme la France où le consommateur recherche préférentiellement de la viande à griller à un prix plus élevé. La connaissance de la variabilité topographique des indices de cisaillement des muscles d'animaux d'origine connue devrait permettre d'améliorer l'utilisation des carcasses sur un marché donné. L'estimation de cette variabilité au niveau et au moment de la qualification des carcasses à l'abattoir doit être un objectif prioritaire des chercheurs en viande. Elle devrait donner lieu à des études générales conjointement dans les différents pays sous forme de projets en coopération. En particulier, l'étude de la variation topographique des forces de cisaillement doit être envisagée de façon systématique pour permettre d'établir clairement l'influence des facteurs de production (comme la race, le sexe, le poids, ...) sur la dureté et l'aptitude à l'emploi des muscles.

Une analyse de la variation topographique des forces de cisaillement amorcée par RAMSBOTTOM et STRANDINE (1948) n'a pas connu, à notre avis, le développement qu'elle méritait. Un faible nombre de travaux y ont été consacrés et ils n'intéressent qu'un nombre restreint de muscles. Il semble cependant que ce genre d'études soit très important (cf., par exemple, les travaux de OTTO et STANG 1975).

L'interprétation des résultats des études dans ce domaine devrait se fonder sur l'allure des profils de cisaillement qu'on peut établir, comme dans la figure I, en portant successivement les valeurs des forces de cisaillement des muscles, par ordre croissant de celles-ci. On peut aisément apprécier l'effet des facteurs zootechniques de variation (type génétique, sexe, âge, ...) en comparant les courbes fournies par les carcasses d'un type donné à une courbe de référence, comme celle de la figure I. De telles études topographiques doivent porter sur un grand nombre de sites musculaires préalablement bien définis. Elles supposent pour être valablement conduites l'ensemble de la méthodologie de la mesure des forces de cisaillement soit bien établi. Il faut, en particulier, que soient parfaitement standardisées les conditions de prélèvement des éprouvettes nécessaires aux mesures. Enfin, le choix d'un matériel approprié n'est pas, dans le programme de travail qu'on peut établir sur ce thème, la moindre des questions à envisager et à résoudre.

Références

MAGNELIE P. (1970), Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Gembloux, Presses agron. / DAVEY C.L. et TILBERT K.V. (1969), J. Fd. Technol. (4), 7-15 / DUMONT B.L. (1977), Reunion Cherc. Viande Paris 13-14 Dec. 1977, in J. Fd. Technol. Agric. 1978, 27 (2), 570 / DUMONT B.L. (1981) Travaux en cours / FINNEY E.E. (1973) in Texture measurement of foods, 33-51, D. Reidel publishing company, Dordrecht. / LEHMANN K.B. (1907), Archiv für Hygiene (63), 134-177 / LIGHT N.D. et BAILEY A.J. (1979), in Fibrous proteins: scientific, industrial and medical aspects, vol I, Academic Press, London. / MORELLI C. (1980), L'appréciation de la tendreté de la viande, Mémoire de fin d'études, ISA Beauvais. / OTTO E et STANG N. (1975), Arch. Tierzucht, Berlin (18), 5, 301-310. / PEARSON A.M. (1963), Proc. 1st tenderness symposium, Campbell soup company. / RAMSBOTTOM J.M et STRANDINE E.J. (1948), Food res. (13), 315-317. / SALE P. (1971), Communication B7, 17 th. Eur. Meet. Meat Res. Workers, Bristol. / SCHMITT O, DRGAS T, PEROT P, et MOULIS M-R et DUMONT B.L. (1979), Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys. 19 (1 A), 1-30. / SZCZESNIAK A.S., in Texture measurements of foods, op. cit. / VOISEY P.W. (1976), J. of Texture studies (7), 11-48.