

C/10

XIX^e REUNION EUROPEENNE DES CHERCHEURS EN VIANDE
XIXth EUROPEAN MEETING OF MEAT RESEARCH WORKERS

PARIS - 2-7 Septembre 1973

INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR INITIALE DE L'ÉCHANTILLON
SUR LES GRANDEURS CARACTERISTIQUES DU CISAILLEMENT
DES VIANDES

P. SALÉ et C. TOURAILLE

Station de Recherches sur la Viande
I.N.R.A. - THEIX
63110 BEAUMONT

RESUME

En utilisant un dispositif permettant d'effectuer le cisaillement d'échantillon de viande dans des conditions bien définies, on a étudié la variation de la force maximum de cisaillement, F_m , du travail, W , et du facteur de forme, $W/F_m \cdot e_0$, avec l'épaisseur initiale e_0 de l'échantillon. F_m et e_0 sont reliés par la relation $F_m = K'e_0^{+f}$, où la valeur de f n'est généralement pas nulle. L'étude du cisaillement de matériaux divers permet de justifier cette relation dont la validité est limitée à des valeurs de e_0 comprises entre 0,3 et 1,3 cm.

La comparaison des valeurs de K et f pour 3 muscles différents étudiés 7 jours *post mortem* montre qu'il existe pour chaque type de muscle une relation entre K et f . On montre alors que le choix de l'épaisseur initiale de l'échantillon, dans des mesures d'épaisseur constante influe notablement sur la comparaison des forces de cisaillement de muscles différents.

Le travail de cisaillement suit une variation parabolique de la forme $W = K'e_0^2$ ce qui permet la comparaison directe de résultats obtenus pour des épaisseurs initiales différentes. Enfin le facteur de forme a une valeur pratiquement indépendante de l'épaisseur initiale.

SUMMARY

Relations between maximum shear force, F_m , shear work, W , "shape Factor", $W/F_m \cdot e_0$, and the initial thickness of raw beef samples were studied using a parallel-knife shear device. Into the limited range of value were have used (0,3 to 1,3 cm) maximum shear force fits with a linear equation : $F_m = K \cdot e_0 + f$ where f is not null. The same form of equation were found when using sheets of various materials.

The comparison of K and f values for three different muscles, 7 days post mortem, indicate a specific relation between K and f for each muscle. As a consequence, it appears that comparison of maximum shear force measured on samples of uniform thickness is dependant of this thickness.

Relation between W and e_0 shows a parabolic form : $W = K' \cdot e_0^2$. This allow a direct comparison of results obtained on samples of different thickness.

The "shape factor" is few dependent of thickness and for practical purpose regard as a constant.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurden die Beziehungen zwischen Maximalscherkraft (F_m), Scherarbeit (W) Formfaktor ($W/F_m x e_0$) und der Probendicke (e_0) während der Abscherung von Fleischproben unter bestimmten Bedingungen geprüft.

Zwischen F_m und e_0 besteht die Relation $F_m = k e_0 + f$ (f ist zumeist nicht null). Die Schervorrichtung wurde auch mit verschiedenen Stoffen geprüft, hier auch war die selbe Relation zutreffend und zwar für Probendicken zwischen 0,3 und 1,3 cm. k und f -werte wurden an drei verschiedenen Muskeln (nach 7 tägiger Reifung) verglichen, für jeden Muskeltyp wurde eine spezifische Relation zwischen k und f festgestellt. Es wird gezeigt dass die Wahl der Probendicke bedeutend die Maximalscherkraft von verschiedenen Muskeln beeinflusst.

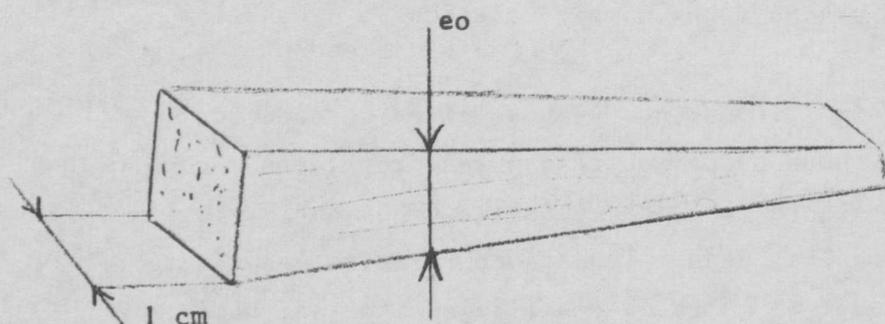
Die Scherarbeit W hängt auch von e_0 ab, die Relation hat die Form $W = k' x e_0^2$. Eine direkte Resultatsvergleiche ist damit ermöglicht mit verschiedenen e_0 -Werten. Zuletzt wurde gezeigt ^{das} der Formfaktor praktisch von der Probendicke unabhängig ist.

De nombreux dispositifs destinés à l'évaluation objective de la tendreté, en particulier l'appareil de Warner et Bratzler, la Presse de Kramer, l'appareil que nous avons nous-même développé, et dans certaines limites l'appareil de Velodkewitch, opèrent par "cisaillement" d'un échantillon. Quel que soit le dispositif utilisé, cette opération de cisaillement est complexe et se déroule selon des modalités propres à chaque dispositif mais d'une façon générale, l'importance relative des divers phénomènes qui apparaissent au cours du cisaillement dépend des dimensions initiales de l'échantillon. PAUL (1955) a montré que les forces de cisaillement obtenues au Warner Bratzler avec des échantillons de 1" de diamètre étaient 2,5 fois plus élevées que celles obtenues avec des échantillons de 1/2". Par la suite POOL (1969) a proposé une relation puissance entre la force et le diamètre de l'échantillon, l'exposant étant voisin de 1,1 c'est-à-dire une relation très proche d'une simple relation de proportionnalité.

En étudiant le cisaillement des viandes effectué dans des conditions bien définies, nous avons montré que les propriétés mécaniques du milieu myofibrillaire, en particulier la cohésion myofibrillaire, jouaient un rôle capital dans l'importance relative des divers phénomènes qui interviennent au cours du cisaillement, et que pour certains muscles ayant atteint un stade avancé de résolution de la *Rigor mortis*, la force de cisaillement était proportionnelle à l'épaisseur initiale. Ceci suppose que le cisaillement proprement dit s'effectue sur le seul milieu conjonctif et donc que le milieu myofibrillaire a pu s'écouler latéralement dans les phases précédentes de l'opération. Dans de nombreux cas il apparaît que soit à cause d'une cohésion myofibrillaire encore trop élevée, soit à cause de la texture du muscle, ces conditions ne sont pas remplies. Il convenait alors de préciser quelle est la nature de la relation entre f_m et e_0 . Parallèlement nous avons étudié la variation du travail de cisaillement W , et le facteur de forme $W/f_m.e_0$ en fonction de l'épaisseur initiale de l'échantillon.

I - METHODE ET DISPOSITIF DE MESURE

Le cisaillement a été effectué sur des éprouvettes prismatiques découpées parallèlement à la direction des fibres musculaires comme indiqué sur la figure ci-dessous, La largeur était constante et égale à la largeur de la fenêtre de cisaillement, soit 1 cm. L'épaisseur en chaque point, e_0 , variait de façon continue entre 1,3 cm au maximum et 0,3 cm au minimum. La longueur de l'éprouvette était dans la mesure du possible supérieure à 10 cm ce qui permettait d'effectuer de 7 à 10 cisaillements. Pour certains muscles qui ne permettaient pas d'obtenir une longueur suffisante d'éprouvette, on a opéré sur plusieurs éprouvettes plus petites découpées dans des zones adjacentes.



L'appareil de cisaillement est analogue à celui que nous avons décrit précédemment. Il a été modifié pour permettre d'une part un réglage plus précis de la position des couteaux, d'autre part la mesure de l'épaisseur initiale de l'échantillon au niveau où sera effectué le cisaillement (fig. 1). Cette mesure est effectuée par un palpeur mécanique présentant une surface d'appui de 18mm² et opérant sous une force de 50 g environ. Le déplacement de ce palpeur est associé à celui d'un capteur électrique qui donne directement l'épaisseur. Deux flasques latéraux encadrent la fenêtre de la lame et évitent une déformation de l'éprouvette sous l'effet du palpeur. La force appliquée à la lame est mesurée par un capteur à jauges de contrainte de rigidité élevée (déformation de 2 $\mu\text{m}/\text{kg}$). Après amplification, la tension de déséquilibre est envoyée d'une part sur un enregistreur qui donne les diagrammes Force-déplacement, d'autre part sur

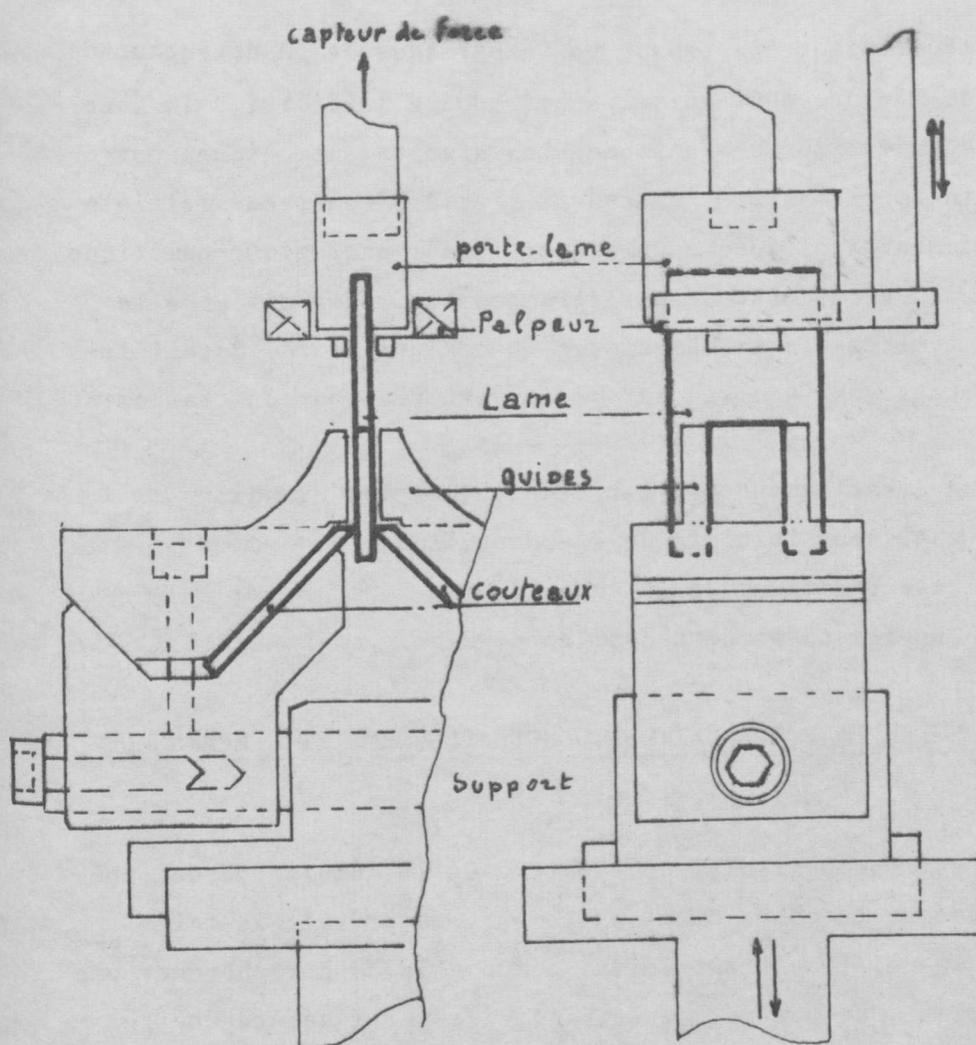


Fig. I : Schéma du dispositif de cisaillement.

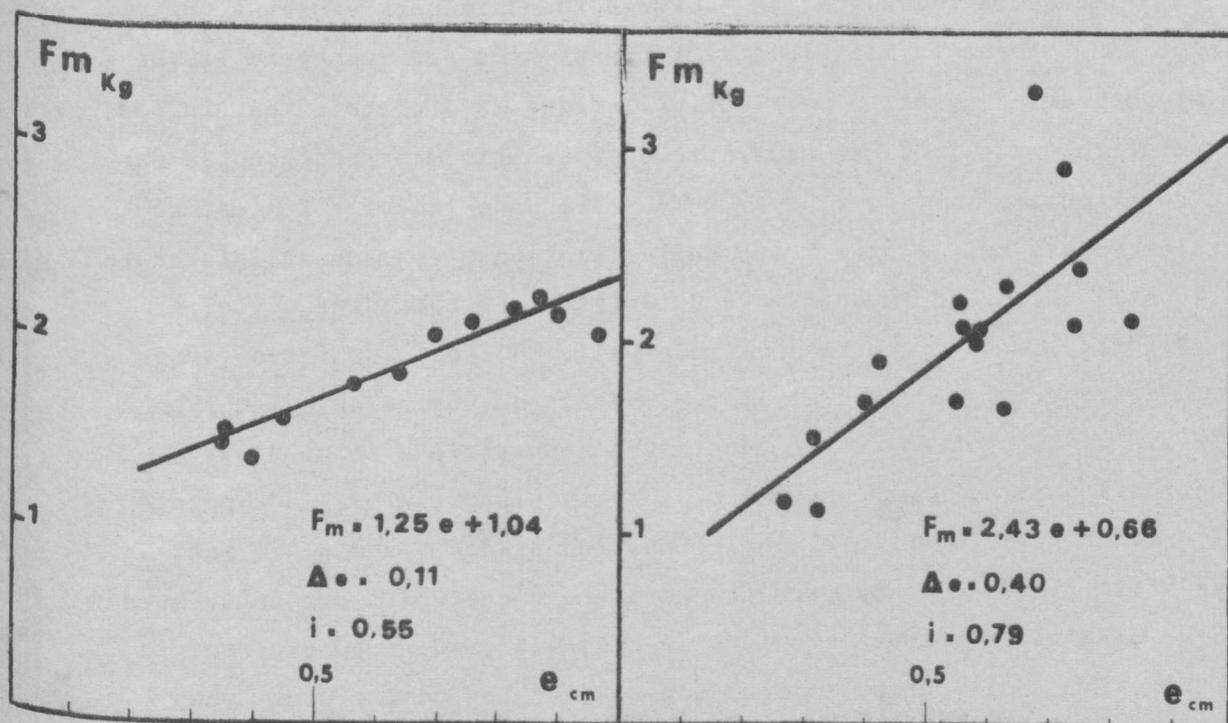


Fig. II : Relation Force Epaisseur

un ensemble électronique comprenant un intégrateur et un détecteur de maximum. L'ensemble présente un temps de réponse inférieur à 10^{-3} sec pour la mesure du maximum de la force. Les signaux analogiques correspondant à la force maximum, au travail, et à l'épaisseur initiale sont successivement appliqués à un convertisseur analogique-numérique puis entrés dans un calculateur qui effectue les mises à l'échelle et les divers traitements mathématiques de ces grandeurs. Parallèlement les résultats sont stockés sur bande perforée pour un traitement ultérieur.

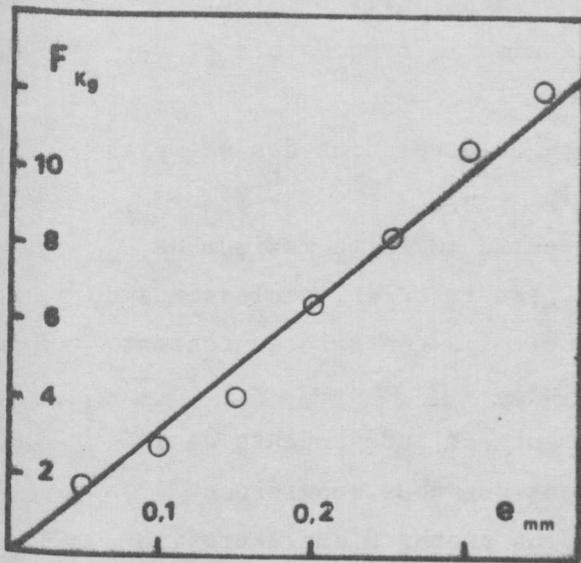
Chaque cisaillement est caractérisé par les grandeurs :

e_0 :	épaisseur initiale de l'échantillon	cm
F_m :	Valeur maximum de la force/2	kg
W :	Travail total de cisaillement/2	cmkg

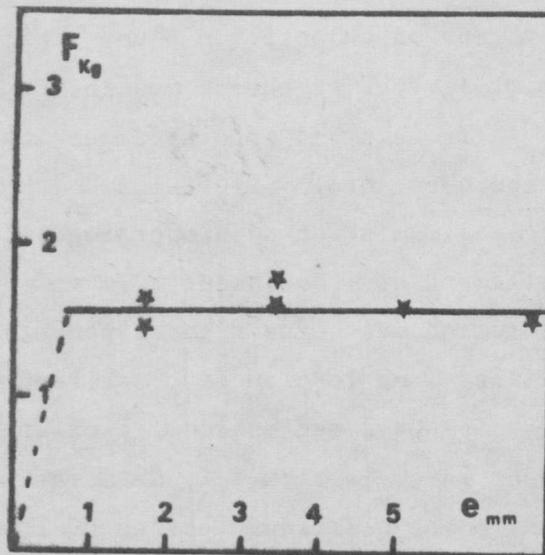
II - RELATION ENTRE LA FORCE MAXIMUM DE CISAILLEMENT ET L'ÉPAISSEUR INITIALE

Il n'est pas possible, compte-tenu de la complexité des phénomènes intervenant au cours du cisaillement, de prévoir la forme analytique de la relation liant F_m et e_0 . On doit donc rechercher une relation empirique, ce qui est rendu difficile par l'hétérogénéité souvent importante des propriétés mécaniques du milieu musculaire.

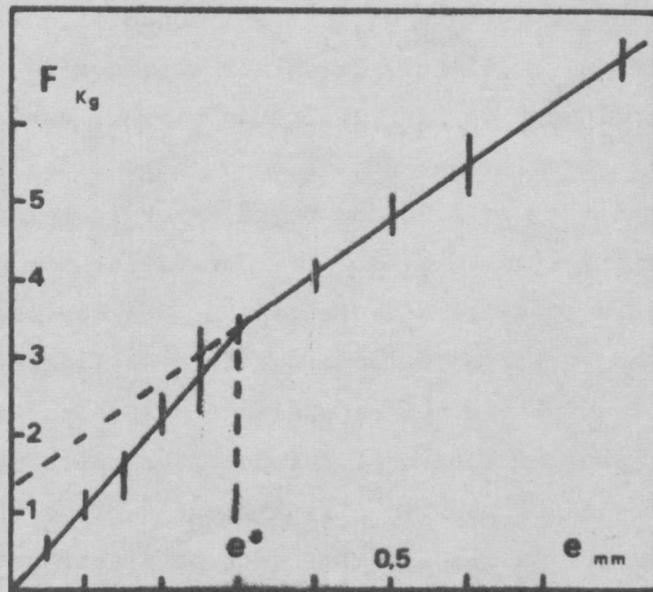
Deux diagrammes F_m , e_0 , correspondant respectivement à une dispersion importante et faible sont représentés sur la figure II. Dans la plupart des cas, et en particulier lorsque la dispersion est faible, la relation entre F_m et e_0 peut être approximativement représentée par une relation linéaire du type $F_m = Ke_0 + f$, dans laquelle f n'est généralement pas nul. A priori une telle relation n'est pas satisfaisante puisque la valeur de F_m doit être nulle pour une épaisseur nulle, et sa validité est donc limitée à l'intervalle où l'on a pu faire varier e_0 , c'est-à-dire entre 0,3 et 1,3 cm. Notons qu'une relation du type $F_m = ae_0^b$, qui peut donner un ajustement comparable à celui d'une fonction linéaire, n'est pas non plus satisfaisante ^{puisque} alors la tangente à l'origine devient infinie ($b < 0$). Dans le cas des viandes, il est très difficile de découper des échantillons d'une épaisseur inférieure à 3 mm sans altérer leur structure et nous n'avons pas pu explorer la relation (F_m , e_0) pour de faibles épaisseurs. Par contre nous avons étudié, avec le même dispositif, le cisaillement de structures



a) Papier



b) Chewing gum



c) Polyéthylène

Fig. III : Relation Force épaisseur pour divers matériaux feuilletés.

feuilletées constituées par la superposition de lames minces. Ceci permet de faire varier l'épaisseur dans de larges limites, tout en opérant sur un échantillon d'une rigidité globale très faible et de ce point de vue, proche du muscle.

Trois types de diagrammes ont été observés dont des exemples sont indiqués sur la figure III.

a) Relation de proportionnalité entre la force maximum de cisaillement et l'épaisseur : $F_m = K e_0$. C'est la relation classique du cisaillement des corps rigides pour lesquels les contraintes restent localisées dans le plan de cisaillement.

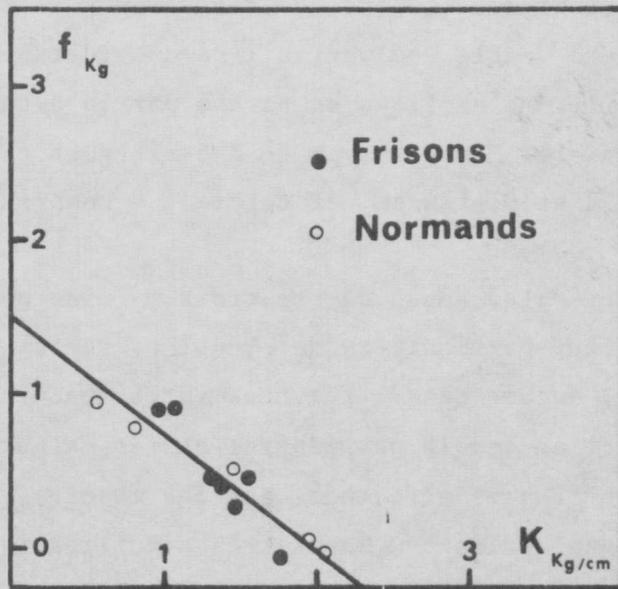
b) La force maximum de cisaillement est indépendante de l'épaisseur initiale : $F_m = f$. Ce cisaillement que nous appellerons "cisaillement plastique" est en réalité plus proche d'une extrusion que d'un cisaillement vrai.

c) Dans de très nombreux cas on observe un cisaillement de type rigide pour des épaisseurs inférieures à une épaisseur critique e^* , mais ensuite la force de cisaillement croît moins vite et selon une loi sensiblement linéaire. Ceci peut s'expliquer par une dispersion des contraintes dans un certain volume de l'échantillon.

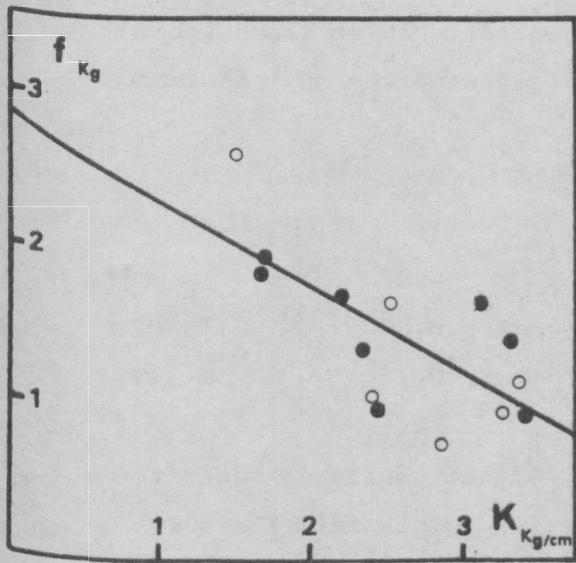
Dans ces systèmes feuilletés, la valeur critique de e_0^* semble dépendre principalement de la rigidité du milieu. Par analogie on peut admettre que le cisaillement des viandes obéit à des lois comparables et il apparaît alors fondé de représenter la relation entre F_m et e_0 par l'expression $F_m = K e_0 + f$. Une valeur non nulle de f , indique que les mesures ont été effectuées pour des épaisseurs supérieures à l'épaisseur critique et donc que le cisaillement proprement dit intervient sur un milieu qui ne présente pas un caractère purement rigide. Cet effet peut être caractérisé par le rapport $p = K / (K + f)$ qui prend une valeur égale à 1 pour le cisaillement de type rigide ($f = 0$) et une valeur nulle pour le cisaillement de type plastique ($K = 0$).

III - VARIATION INTRA ET INTER MUSCULAIRES DE K et f

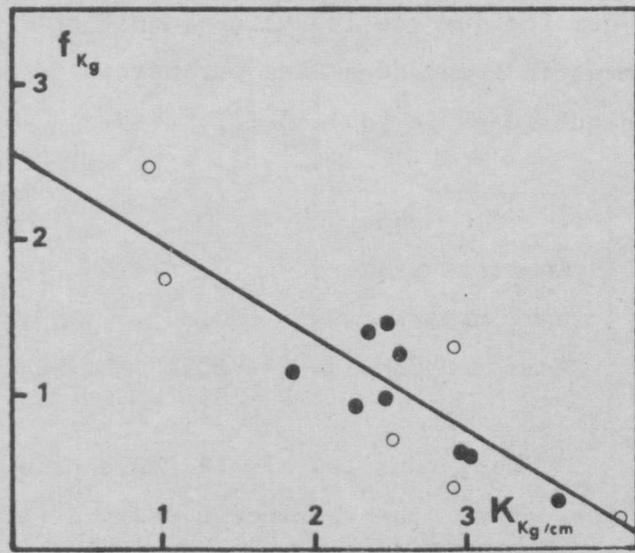
Nous avons déterminé les valeurs de K et de f pour 3 muscles (*Longissimus dorsi*, *Semi membranosus*, *Semi tendinosus*) prélevés sur deux lots de Taurillons (8 Frisons, 6 Normands) âgés de 17 mois environ. Les mesures ont été faites 7 jours *post mortem* et les valeurs de K et f déterminées par vingt couples de valeurs (F_m , e_0), e_0 variant entre 0,3 et 1,3 cm. L'ensemble des résultats est représenté sur les diagram-



Longissimus dorsi



Semi tendinosus



Semi membranosus

Fig. IV : Relation f. K pour divers muscles

mes (f, K) de la figure 4, et les valeurs moyennes de K , f et ρ sont indiquées dans le tableau I.

L'examen des diagrammes montre que les valeurs de K et de f ont présenté pour un même muscle une variabilité considérable selon l'animal. Cette variabilité s'explique en partie par la dispersion due à l'hétérogénéité du muscle. L'écart type de K était pour chaque muscle compris entre 0,2 et 0,4 kg/cm, et celui de f compris entre 0,1 et 0,2 kg.

D'une façon générale, aucun de ces trois muscles ne se caractérise par une valeur particulière de ρ , qui présente une valeur moyenne voisine de 0,7, aucune des différences inter musculaires n'étant significative. Ceci ne semble pas général et les valeurs de ρ obtenues au cours d'expériences effectuées sur des muscles *Pectoralis profundus* sont en moyenne égales à 0,95 et très significativement différentes des précédentes. Pour ce dernier muscle le cisaillement présente donc un caractère rigide nettement accusé qui traduit certainement sa différence de texture avec les précédents.

D'autre part on remarque que les points correspondants à chaque muscle se répartissent autour d'une droite de pente négative, ce qui indique que les valeurs de f et K ne varient pas de façon totalement indépendantes. Les paramètres de la régression $f = mK + f^*$ sont indiqués dans le tableau II.

MUSCLE	m	f	r
<i>Longissimus dorsi</i>	- 0,75	1,47	- 0,93 ⁺⁺
<i>Semi membranosus</i>	- 0,61	2,60	- 0,85 ⁺⁺
<i>Semi tendinosus</i>	- 0,54	2,83	- 0,71 ⁺⁺

Dans tous les cas la régression est significative au seuil 1% et les pentes sont voisines c'est-à-dire que les points relatifs aux divers muscles se répartissent selon des droites de direction voisine et dont la pente apparaît représenter une valeur caractéristique du muscle.

Quelle est la signification de cette pente ? Dans le diagramme (K, f) une droite de pente négative p définit l'ensemble des couples K et f pour lesquels la valeur de F_m mesurée sur des échantillons d'épaisseur constante, E , serait elle-même constante. La pente de la

T A B L E A U I

	FRISONS						NORMANDS					
	K.Kg/cm		f kg		ρ		K		f		ρ	
	Moy.	E. typ	Moy.	E. typ	Moy.	E. typ	Moy.	E. typ	Moy.	E. typ	Moy.	E. typ
<i>Longissimus dorsi</i>	1,31	0,26	0,47	0,34	0,74	0,18	1,36	0,66	0,44	0,42	0,73	0,28
<i>Semi membranosus</i>	2,63	0,54	0,96	0,41	0,73	0,11	2,38	1,8	1,17	0,82	0,65	0,26
<i>Semi tendinosus</i>	2,51	0,68	1,48	0,37	0,62	0,11	2,64	0,68	1,36	0,67	0,66	0,16

droite de régression donne donc, au signe près, la valeur de l'épaisseur initiale de l'échantillon qui conduirait à la plus faible dispersion des valeurs de F_m pour un muscle donné.

IV - INFLUENCE DU CHOIX DE L'ÉPAISSEUR INITIALE DE L'ÉCHANTILLON POUR LES MESURES À ÉPAISSEUR CONSTANTE

Les mesures de force de cisaillement sont généralement effectuées sur des échantillons d'épaisseur constante E . Ceci ne fournit qu'une information incomplète sur la résistance au cisaillement, puisqu'en général celle-ci est définie par les deux paramètres K et f . En outre il résulte de ce qui précède que choisir une épaisseur initiale standard égale à E revient à choisir pour base de comparaison des points du diagramme (f, K), des droites parallèles de pente $-E$. La dispersion des valeurs de f_m pour chaque groupe de mesure dépend donc du choix de E . Pour illustrer cet effet nous avons recalculé, à partir des résultats de nos mesures, les forces de cisaillement des muscles *Semi tendinosus* et *Semi membranosus* pour une épaisseur initiale de 0,4 et 1,5 cm.

Les valeurs moyennes indiquées dans le tableau III montrent que les forces de cisaillement de ces deux muscles sont significativement différentes lorsque l'épaisseur initiale est de 0,4 cm et non significatives si elle est de 1,5 cm.

Épaisseur	<i>Semi tendinosus</i>		<i>Semi membranosus</i>		Comparaison des moyennes	
	F_m	Ecart type	F_m	Ecart type	t	
0,4 cm	2,45	0,37	2,06	0,37	26	2,83 ⁺⁺
1,5 cm	7,85	1,34	7,36	1,62	26	0,86 NS

Il apparaît donc que l'épaisseur initiale de cisaillement doit être choisie en fonction du critère que l'on désire mettre en évidence par la mesure de F_m . En particulier, pour une évaluation objective de la tendreté, cette épaisseur initiale devra être choisie en fonction des résultats d'un jury de dégustation.

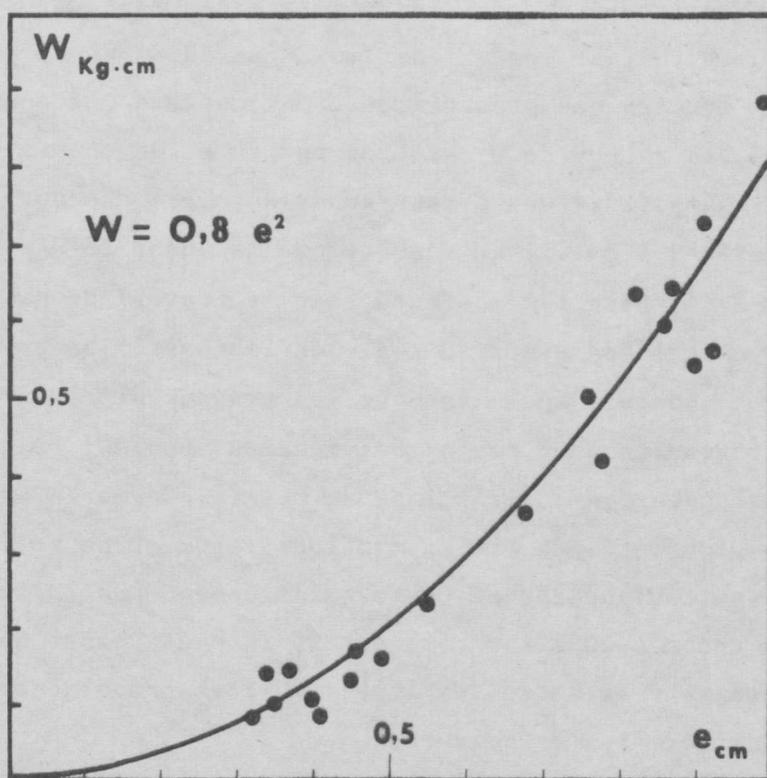


Fig. V : Relation Travail Epaisseur

V - INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR INITIALE SUR LE TRAVAIL DE CISAILLEMENT ET SUR LE FACTEUR DE FORME

Le diagramme de la figure 4 représente un exemple typique de variation du travail avec l'épaisseur initiale. Cette variation présente une allure parabolique et la relation $W = K'e_0^2 + w$ donne toujours un ajustement satisfaisant avec les points expérimentaux.

Le tableau IV indique les valeurs moyennes de K' et de w obtenues sur les mêmes muscles que précédemment. On constate que pour ces muscles maturés, la valeur de w est très petite et qu'en pratique on peut la négliger sans faire une erreur supérieure à 10 % pour des épaisseurs inférieures à 1 cm. Il en résulte que la quantité W/e_0^2 , sensiblement égale à K' , permet de caractériser le travail de cisaillement, quelle que soit l'épaisseur initiale de l'échantillon prise en considération. Il apparaît également que les travaux de cisaillement sont nettement différenciés pour chacun des muscles étudiés; le travail apparaît être une grandeur caractéristique du muscle. Comme le travail dépend surtout des propriétés du milieu myofibrillaire et de ses interactions avec le tissu conjonctif, et reste relativement peu influencé par les propriétés propres du tissu conjonctif, on peut penser que les différences enregistrées entre les divers muscles traduisent en grande partie des différences de texture.

Nous avons également étudié l'influence de l'épaisseur initiale de l'échantillon sur la valeur du facteur de forme $W/fm.e_0$. La valeur de ce paramètre dépend peu de la nature du muscle, mais évolue considérablement au cours de la maturation, de façon parallèle à la dégradation des protéines myofibrillaires. Il constitue de ce fait un critère mécanique simple du degré de maturation. Le facteur de forme varie en général peu avec l'épaisseur de l'échantillon, et cette variation peut être approximativement représentée par une droite : $W/Fme_0 = ae_0 + b$. Les valeurs de a et b indiquées dans le tableau IV montrent que le coefficient de variation en fonction de l'épaisseur est faible et inférieur à 10 %, sauf dans le cas du *Semi tendinosus* des Taurillons Frisons. D'une façon générale la détermination de ce paramètre pour des épaisseurs initiales différentes ne conduira pas à des valeurs sensiblement différentes et il peut en pratique être considéré comme indépendant de l'épaisseur.

T A B L E A U I V

	W								W/Fe							
	FRISONS				NORMANDS				FRISONS				NORMANDS			
	K'K/cm		W cmkg		K'		W		a		b		a		b	
	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.	Moy.	E. typ.
Long dorsal	0,41	0,07	0,03	0,05	0,37	0,10	0,00	0,02	0,03	0,06	0,19	0,09	0,05	0,02	0,11	0,03
Demi-membraneux	0,78	0,13	0,07	0,04	0,86	0,12	0,06	0,07	0,00	0,02	0,24	0,06	0,01	0,005	0,24	0,03
Semi-tendineux	1,07	0,21	0,06	0,06	1,06	0,15	0,03	0,06	0,02	0,01	0,22	0,03	0,01	0,01	0,21	0,04

CONCLUSIONS

Tous les résultats que nous venons d'indiquer ont été obtenus sur des muscles normalement maturés et pour lesquels on sait que la faible cohésion myofibrillaire favorise les phénomènes d'écoulement qui précèdent le cisaillement proprement dit. Ceci conduit dans un stade ultime à une séparation complète des tissus conjonctifs et le cisaillement présente alors un caractère rigide pur. Le fait que pour les trois muscles étudiés on observe fréquemment un cisaillement présentant un caractère plastique accusé incite à penser que la phase finale du cisaillement s'est effectuée sur un milieu encore riche en éléments myofibrillaires. Ceci pourrait s'expliquer par des différences de texture, notamment au niveau des dimensions des fibres ou des faisceaux de fibres.

Par ailleurs, on doit s'attendre à ce que tout phénomène modifiant la cohésion myofibrillaire, modifie également le mode de cisaillement. Des expériences préliminaires nous ont effectivement montré une nette tendance à l'augmentation du caractère plastique du cisaillement pour les viandes cuites après maturation, ce caractère plastique se retrouvant également accusé sur les viandes en *rigor*.

Enfin il apparaît que la force maximum de cisaillement doit être caractérisée par deux paramètres, K et f, ce qui implique d'effectuer les mesures sur des échantillons d'épaisseur variable. On peut alors mettre en évidence des différences de comportement mécanique entre des muscles qui présentent des forces de cisaillement identiques pour une épaisseur d'échantillon constante. Ceci permet d'envisager une meilleure évaluation objective de la tendreté, dans la limite où les différences de comportement mécanique jouent un rôle appréciable au cours de la maturation.

Références

PAUL P. and BRATZLER, 1955 - Food Res. 20, 635-638.

POOL and KLOSE, 1969 - J. Food Sci., 34, 524-526

SALE P., 1971 - XVIIth European Meeting of meat Research Workers.