

SESSION 4 - INFLUENCE OF TECHNOLOGY ON EATING QUALITY

Étude du travail de compression d'une viande en vue de la mise au point d'un modèle de détermination objective de la tendreté^(x)

J.J. ADAM et C. DEROANNE

Centre Agronomique de Recherche sur la Viande (Section III) - Chaire de Technologie des Industries Agro-Alimentaires. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat. 5800-GEMBLoux, Belgique.

I. Introduction

C'est un fait connu qu'au niveau du consommateur, la qualité de la viande est d'abord perçue au travers de la tendreté. Nous avons récemment encore confirmé ce fait lors d'une enquête (ADAM, 1983). Ainsi est-il logique que de nombreux chercheurs se soient intéressés à la mise au point de méthodes de mesure instrumentales de ce paramètre, ceci afin de disposer d'une technique rapide et fiable pour son appréciation objective. L'effort de recherche s'est dans un premier temps orienté vers la mesure des forces de cisaillement sur base des travaux réalisés par LEHMAN (1907), WARNER-BRATZLER (1925), SZCZESNIAK & TORGESEN (1965) et VOISEY (1975). Malheureusement les résultats obtenus ne sont que partiellement utilisables car il n'y a pratiquement qu'une faible relation entre cette mesure et la perception de la tendreté par le consommateur (DEMEYER, 1983). A la suite de cet échec relatif, d'autres approches de résolution de ce problème sont apparues. Ainsi CALZADA & PELEG (1978) ont-ils émis l'idée de compléter, par un test de compression, l'information obtenue par la technique des forces de cisaillement. La plupart des études alors entreprises dans ce domaine se sont efforcées de caractériser le comportement du muscle par : la contrainte maximum, la déformation à la contrainte maximum, et par un facteur d'élasticité (NOEL, 1980). Ces trois paramètres ne rendent pas compte de l'évolution des contraintes subies par les échantillons en fonction du temps, ce ne sont pour la plupart que des mesures ponctuelles. Notre contribution à la mesure objective de la tendreté de la viande consiste en l'étude de la déformation d'échantillons soumis à une force d'écrasement maximale de 40 kg. De cette manière il nous a été permis de suivre le phénomène de compression dans le temps.

II. Matériel et méthodes

Sept carcasses de bovin^(xx) ont été testées comparativement par deux méthodes de détermination de la tendreté. Ces deux méthodes sont basées sur des concepts radicalement différents. Il s'agit dans le premier cas de la mesure d'efforts de tranchage avec exploitation des résultats soit au moyen de calcul de la moyenne arithmétique d'un certain nombre de mesures soit par l'utilisation d'un paramètre que nous appellerons tau 5. La deuxième méthode est basée sur la mesure du module de travail de compression. Toutes les mesures ont été effectuées sur cinq muscles ou groupes de muscles représentatifs de la qualité d'une carcasse. Il s'agit de l'ALOYAU (PSOAS), de la PLATE-CUISSE (SEMI-MEMBRANEUX), de l'ENTRECOTE (LONG DORSAL DANS SA PORTION THORACIQUE), du JARRET (FLECHISSEUR LATERAL DES PHALANGES).

Cette étude subventionnée par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A. - Agriculture), est réalisée au Centre Agronomique de Recherche sur la Viande ne possédant pas d'abattoirs dans ses installations, les analyses ont été effectuées sur des carcasses provenant d'une chaîne commerciale. C'est la raison pour laquelle nous ne pouvons assurer avec certitude l'historique de ces carcasses.

II. 1. Mesure d'efforts de tranchage

II. 1. 1. Mesure d'une force moyenne de cisaillement
La préparation des échantillons nécessaires à cette méthode consiste, après parage, en la découpe, dans le sens des fibres musculaires, d'une tranche de 2,5 cm d'épaisseur. Celle-ci est placée dans un sachet de type polyéthylène étirable (EAD/41-UCB-SIDAC), immergé dans un bain-marie à 75°C. Lorsque la viande est retirée du bain et refroidi sous eau courante jusqu'à une température de 25°C par exemple (BOCCARD, 1981). La tranche est alors débitée en cylindres à l'aide d'un "MEAT BORER-INSTRON" de 1,27 cm de diamètre (0,5 inch) dans le sens des fibres.



FIGURE 1
Schéma de carottage des viandes en vue de la mesure des forces de cisaillement.
Meat sampling in order to measure the shear force.

Le principe est de faire subir à ces carottes de viande un tranchage perpendiculaire aux fibres à l'aide d'un matériel INSTRON 1140 équipé d'une cellule exercée par le couteau. La vitesse de descente du couteau est de 50 mm/min. La force de plus grand pic est retenue comme mesure de la tendreté. Nous effectuons 30 à 40 mesures par viande analysée. Nous calculons ensuite la moyenne arithmétique de ces 30 à 40 mesures que nous considérons comme mesure de la force moyenne de cisaillement (WB).

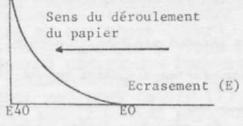
II. 1. 2. Mesure du paramètre tau 5

Au départ des 30 à 40 mesures des forces de cisaillement déterminées à l'aide de l'INSTRON (muni d'une cellule de WARNER-BRATZLER), nous définissons un paramètre tau 5 (τ₅). Le principe sur lequel nous nous basons pour définir ce nouveau paramètre est le suivant : si toutes les mesures de cisaillement effectuées sont supérieures à 5 kg, la viande est 0 % tendre et inversement si toutes les mesures effectuées sont inférieures à 5 kg, la viande est 100 % tendre. Toutes les valeurs intermédiaires entre ces deux extrêmes sont bien entendu possibles (ex. 15 mesures comprises entre 5 kg sur 34 mesures donne tau 5 = 15/34 = 44 %). C'est en fonction de ces travaux de BENDALL (1980) que nous avons pris 5 kg comme valeur caractéristique. Celui-ci donne en effet un tableau de comparaison entre forces de cisaillement et notes données par un jury de dégustation duquel il ressort qu'une viande moyennement tendre répond à une force de cisaillement de 5 kg.

II. 2. Mesure du travail de compression

Des tranches d'épaisseurs variables (0,4 à 1,5 cm) ont été découpées perpendiculairement au sens des fibres dans chacun des quatre types de muscles ou groupes de muscles. Les tranches, emballées sous vide dans un sachet EAD/41-UCB-SIDAC ont été cuites à 70°C à coeur (température mesurée à l'aide d'une sonde thermocouple) puis refroidies jusqu'à température ambiante dans un courant d'eau froide. Les tranches sont débitées en cylindres à l'aide d'un "MEAT BORER-INSTRON" (de diamètre de 2,54 cm (1 inch)). Ces cylindres, au nombre d'une centaine (de diamètre constant et d'épaisseur variable) sont alors comprimés à l'aide d'un matériel INSTRON 1140 muni d'une cellule de diamètre supérieur (tranchage de 3,5 cm) à celui des échantillons afin d'éviter tout phénomène de tranchage (LEPITIT, 1982). La vitesse de descente de la cellule est de 5 mm/min. L'allure générale des courbes obtenues à la sortie de l'enregistreur est la suivante.

FIGURE 2 - Courbe Force = F (Ecrasement) Force-Stress Curve



FORCE = force de résistance à la compression d'un échantillon cylindrique de viande
ECRASUREMENT = distance parcourue par la cellule de compression
E0 = Ecrasement pour une force nulle
E40 = Ecrasement pour une force de 40 kg

Ayant démontré par ailleurs que la forme mathématique de la relation liant la force d'écrasement à la valeur de l'écrasement était $F = a.e.b.E$, il est aisé de développer une théorie mathématique du travail de compression (Tc) que l'on peut alors définir de la sorte $Tc = \int FdE$ (ADAM, 1984). L'originalité de cette méthode est que la déformation n'est pas limitée par un taux de compression mais par une force de compression. Il semble en effet plus logique de considérer que le travail de la mâchoire soit limité par un effort donné plutôt que par un écrasement donné. Nous avons choisi de définir la limite de l'effort à 40 kg, étant donné que pour cette valeur, le taux de déformation est compris entre 0,2 et 0,7. L'épaisseur de l'échantillon avant compression (Lo) et sous contrainte (L40) est mesurée à l'aide d'un vernier. Le travail nécessaire à la compression (Tc) d'un échantillon d'épaisseur donnée est mesuré par la surface délimitée par la courbe Force = f (Ecrasement) représentée à la Figure 2. Nous répétons cette mesure une centaine de fois. Ainsi pour chaque type de viande nous définissons une droite de régression passant au mieux à travers le nuage de points (épaisseur de l'échantillon (Lo), travail de compression (Tc)).

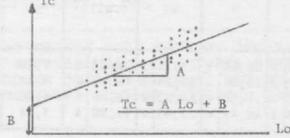


FIGURE 3
Droite de régression passant à travers un nuage de points expérimentaux (Lo, Tc).
Regression line crossing over an experimental points cloud (Lo, Tc).

Le calcul de ces droites de régression $Tc = A Lo + B$ nous apporte trois types d'informations.

1. Une notion de l'augmentation du travail de compression en fonction de l'épaisseur des échantillons c'est-à-dire une notion différentielle de la tendreté représentée par un coefficient angulaire A que nous appellerons module de travail de compression.
2. Le calcul du terme indépendant B.
3. La valeur du coefficient de corrélation qui représente une mesure de l'homogénéité des muscles ou des groupes de muscles analysés.

III. Résultats et discussion

III. 1. Choix des méthodes d'analyse

L'exploitation des résultats obtenus par la mesure des forces de cisaillement se résume bien souvent à la simple détermination d'une moyenne arithmétique d'un certain nombre de mesures (HOSTETLER, 1978). Cette manière de faire ne donne qu'une information imprécise en raison de la très grande hétérogénéité du matériel viande. Or la variabilité observée n'est que dans une faible mesure imputable à la méthode de détermination (CASTERMAN, Communication personnelle). Dès lors, en plus du simple calcul de la moyenne,

nous aimerions proposer un paramètre tau 5, dérivé des notions de forces de cisaillement. Celui-ci tient compte de l'hétérogénéité plus ou moins grande des échantillons et tente, en rassemblant les différentes mesures de forces de cisaillement, de les traduire en termes d'appréciation par un jury de dégustation.

Malgré cette amélioration, les forces de cisaillement ne rendent compte que partiellement du phénomène de la mastication qui est plus complexe et qui fait intervenir des composantes de compression. C'est la raison pour laquelle les corrélations entre forces de cisaillement et appréciation provenant d'un jury de dégustation sont rarement supérieures à 0,7 (DEMEYER, 1983). Nous avons donc testé une seconde méthode de détermination de la tendreté basée sur la mesure du travail de compression d'une viande.

III. 2. Analyse des résultats

III. 2. 1. Mesure des efforts de tranchage

III. 2. 1. 1. Mesure d'une force moyenne de cisaillement déterminée à partir des forces maximales de cisaillement

TABLEAU I - Valeurs des forces moyennes de cisaillement obtenues par type de muscle et par carcasse^(x).
Shear forces mean measures for each type of muscle of each carcass.

CARCASSES N°	I	II	III	IV	V	VI	VII	m
ALOYAU	5,17 2	5,91 3	6,80 4	4,45 2	5,39 1	4,56 1	5,81 2	2,14
PLATE-CUISSE	4,64 1	4,66 1	5,46 3	5,92 4	7,11 4	6,71 3	6,44 3	2,71
ENTRECOTE	5,39 3	5,38 2	5,17 2	4,32 1	5,97 3	8,04 4	7,22 4	2,71
JARRET	5,98 4	6,91 4	3,99 1	4,45 2	5,58 2	5,22 2	5,41 1	2,29

(x) Chaque valeur inscrite dans le tableau est une moyenne de 30 à 40 mesures.

Au sein de chaque carcasse, il est possible d'établir un classement de tendreté des muscles. Pour ce faire, il suffit d'attribuer, de 1 point à la viande la plus tendre, jusqu'à 4 points à la viande la plus dure. Nous pouvons alors calculer une moyenne (m) des points attribués par type de viande sur les sept carcasses étudiées. Nous obtenons ainsi le classement général suivant :

1. ALOYAU m=2,14 2. JARRET m=2,29 3. PLATE-CUISSE m=2,71 4. ENTRECOTE m=2,71

III. 2. 1. 2. Mesure des efforts de tranchage à l'aide du paramètre tau 5

TABLEAU II - Valeurs des paramètres tau 5 obtenus par type de muscle et par carcasse.
Tau 5 values measured for each type of muscle of each carcass.

CARCASSES N°	I	II	III	IV	V	VI	VII	m
ALOYAU	35,71 3	46,67 2	2,13 4	74,07 1	37,04 2	75,00 1	24,32 2	2,14
PLATE-CUISSE	73,70 1	65,85 1	35,90 3	6,52 4	28,00 3	15,63 2	9,68 3	2,57
ENTRECOTE	33,00 4	38,46 3	36,36 2	67,86 3	7,41 4	4,76 4	0,00 4	3,43
JARRET	35,90 2	18,60 4	81,10 1	74,00 2	38,46 1	34,62 2	34,50 1	1,86

Nous basant sur le même raisonnement que celui qui nous a permis de classer les viandes à l'aide des valeurs de forces moyennes de cisaillement, nous obtenons le classement suivant établi en fonction des paramètres tau 5 :

1. JARRET m=1,86 2. ALOYAU m=2,14 3. PLATE-CUISSE m=2,57 4. ENTRECOTE m=3,43

III. 2. 2. Mesure du travail de compression

III. 2. 2. 1. Mesure du travail de compression par analyse du module de travail en compression (A)

TABLEAU III - Valeurs des modules de compression A obtenus par type de muscle et par carcasse. Compression module (A) values measured for each type of muscle of each carcass.

CARCASSE N°	I	II	III	IV	V	VI	VII	m
ALOYAU	92,56	98,65	104,23	85,83	82,03	87,87	82,62	2,29
PLATE-CUISSE	90,59	92,06	75,65	85,90	83,27	93,10	86,76	2,57
ENTRECOTE	92,42	103,94	82,08	88,43	89,74	101,56	91,45	1,43
JARRET	71,93	83,92	102,91	81,90	68,14	81,00	78,72	3,71

Le classement général établi comme précédemment donne :

1. ENTRECOTE m=1,43 2. ALOYAU m=2,29 3. PLATE-CUISSE m= 2,57 4. JARRET m=3,71

III. 2. 2. 2. Mesure du travail de compression par analyse du terme Indépendant B

TABLEAU IV - Valeurs des termes indépendants (B) obtenus par type de muscle et par carcasse. B terms for each type of muscle of each carcass.

CARCASSE N°	I	II	III	IV	V	VI	VII	m
ALOYAU	19,04	15,06	13,14	27,77	28,80	23,76	29,84	2,14
PLATE-CUISSE	25,19	25,18	35,71	32,02	25,01	20,24	19,44	2,71
ENTRECOTE	23,98	12,25	33,36	22,79	21,37	13,82	16,79	1,43
JARRET	31,16	25,93	15,79	32,08	40,41	25,95	31,98	3,71

Le classement général établi comme précédemment donne :

1. ENTRECOTE m=1,43 2. ALOYAU m=2,14 3. PLATE-CUISSE m=2,71 4. JARRET m=3,71

III. 2. 2. 3. Mesure de l'homogénéité des muscles ou groupes de muscles

TABLEAU V - Valeurs des coefficients de corrélation des droites de régression $T_c = A Lo + B$ par type de muscle et par carcasse. Correlation coefficients of the regression line $T_c = A Lo + B$ for each type of muscle of each carcass.

CARCASSE N°	I	II	III	IV	V	VI	VII	m
PLATE-CUISSE	.96	.94	.96	.96	.95	.97	.93	.953
ALOYAU	.95	.97	.93	.95	.94	.93	.93	.946
ENTRECOTE	.93	.97	.92	.97	.91	.91	.97	.940
JARRET	.91	.92	.95	.86	.84	.93	.92	.904

Statistiquement, le coefficient de corrélation est une mesure de la dispersion des points autour d'une droite de régression. C'est donc une mesure de la variabilité des résultats expérimentaux autour d'une droite de valeur théorique. Les coefficients de corrélation des droites $T_c = f(Lo)$ sont donc bien une mesure de l'homogénéité des muscles ou des groupes de muscles testés. D'après le tableau précédent, la plate-cuisse semble être la viande la plus homogène ($r = .953$), suivie de l'aloiseau ($r = .946$) puis de l'entrecôte ($r = .940$) et enfin du jarret ($r = .904$). Ces résultats sont en bonne relation avec les notions couramment admises par les métiers de la boucherie.

III. 3. Discussion des résultats

Nous sommes donc en présence de 4 classements de tendreté des muscles étudiés. Ces 4 classements sont similaires deux à deux. Nous présumons donc que certains paramètres sont corrélés. Les relations existantes entre les 4 paramètres générateurs de ces classements sont données ci-dessous au travers du calcul des coefficients de corrélation.

TABLEAU VI - Tableau des coefficients de corrélation liant les paramètres A, B, WB et tau 5 entre-eux. Correlation coefficient of the relation between A, B, WB and $\tau 5$.

r	B	WB	$\tau 5$
A	0,93	0,006	0,04
B	-	0,13	0,07
WB	-	-	0,88

Remarque : seules les valeurs absolues des coefficients de corrélation sont reprises dans ce tableau.

Ce tableau indique que A et B sont bien corrélés entre-eux de même que WB et $\tau 5$. Pour expliquer la bonne corrélation entre WB et $\tau 5$ nous pouvons invoquer que le paramètre $\tau 5$ a été défini comme une traduction en terme de panel de dégustation des efforts de tranchage. Il est moins facile d'expliquer la très bonne corrélation entre A et B. Selon nous, si nous reprenons l'allure de la courbe $T_c = A Lo + B$, celle-ci n'est réellement linéaire que dans une zone définie entre $Lo = 0,5$ cm et $Lo = 1,5$ cm. En-dessous de 0,5 cm, la courbe change de forme mathématique étant donné son passage obligé par l'origine.

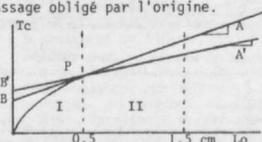


FIGURE 4 Allure générale de la courbe - Travail de compression en fonction de l'épaisseur des échantillons. General aspect of the curve - Compression work function of sample thickness.

Sur base des travaux de LEPETIT (1982), nous pensons que pour les échantillons de faible épaisseur, les diagrammes contrainte-déformation ne sont pas caractéristiques du muscle considéré, c'est-à-dire que la partie I de la courbe $T_c = f(Lo)$ est à peu de chose près la même pour tout type de viande. Toutes ces viandes aboutissent donc, pour une épaisseur de 0,5 cm, au même point P. On comprend dès lors que lorsque les valeurs de A grandissent, les valeurs B diminuent. A et B sont donc inversement proportionnels. Dans ces conditions, sur les 4 paramètres étudiés, 2 sont réellement représentatifs de concepts différents. Reste donc à choisir un des deux paramètres entre

WB et $\tau 5$ et un des deux paramètres entre A et B. Le paramètre B représentant un travail de compression pour un échantillon d'épaisseur nulle n'a pas de représentation physique. Nous lui avons donc préféré le module A de travail de compression. Le paramètre $\tau 5$ tenant compte de l'hétérogénéité plus ou moins grande des échantillons et traduit en termes d'appréciation par un jury de dégustation les informations fournies par les valeurs de WB, il est clair que $\tau 5$ est un paramètre plus riche que WB. C'est la raison pour laquelle nous proposons de l'utiliser dans l'avenir.

Il apparaît que les classements des 4 muscles en fonction de leur tendreté mesurée sur base des paramètres A et $\tau 5$ sont différents. Il semble donc que ces paramètres ne recouvrent pas le même concept. Il est intéressant de noter que dans la majorité des résultats repris dans les tableaux I, II, III et IV, la variabilité intercarcasse est plus importante que la variabilité intracarcasse. Ceci témoigne de la très grande hétérogénéité de la qualité des viandes vendues dans le commerce. Dans le cas présent, il est étonnant de remarquer que les 7 carcasses ont été choisies par un responsable d'achat d'une chaîne commerciale dont la devise de qualité est l'homogénéité. Le fait que les viandes ne sont pas toujours classées dans le même ordre pour les différentes carcasses nous amène à constater en accord avec la littérature que la mesure de la qualité d'un muscle ne permet en aucun cas de prédire à coup sûr la qualité des autres muscles. Une mesure de répétabilité d'un classement est une mesure de fiabilité de paramètres générateurs de ce classement. Ainsi dans notre cas, l'écart-type des moyennes (m) des points attribués par type de viande classés d'après les paramètres A, $\tau 5$, WB ou B est une mesure de la dispersion de ces moyennes. Plus cette dispersion est grande plus les moyennes sont différentes les unes des autres, plus les classements effectués pour chaque carcasse se ressemblent. Les valeurs calculées des écarts-type pour les 4 types de classement sont les suivants :

Classement sur base de	B	A	$\tau 5$	WB
Ecart-type s =	0,9631	0,9413	0,6853	0,2923

Ceci constitue un élément de plus qui nous amène à proposer le paramètre A de mesure de la tendreté et à poursuivre l'étude du comportement de $\tau 5$ sur une gamme plus large d'échantillons.

IV. Conclusions

Nos travaux nous ont permis de :

- Définir un paramètre de mesure de l'homogénéité d'une viande.
- Proposer 2 paramètres complémentaires de détermination de la tendreté que nous avons appelé $\tau 5$ et module A de travail de compression.
 - Premier paramètre (tau 5) : il est basé sur le même concept que les Forces de cisaillement; il est néanmoins plus riche d'informations. Ce paramètre est intéressant à utiliser en ce sens qu'il traduit en termes d'appréciations organoleptiques l'ensemble des mesures de force de tranchage réalisées sur une viande.
 - Deuxième paramètre (module A) : il est basé sur la notion de travail de compression. Il permet de traiter la notion de tendreté par une autre voie d'approche. Cette méthode permet de suivre le phénomène de compression dans le temps et de définir une notion différentielle de la tendreté.
- Classer 4 types de muscle prélevés sur 7 carcasses sur base de ces nouveaux paramètres.

L'objectif de notre étude qui tenait à préciser l'importance des concepts de base utilisés pour mettre au point une méthode de mesure objective est donc atteint. Dans le cas présent, selon que l'on se base sur des phénomènes de cisaillement ou de compression pour déterminer un classement de tendreté des viandes, on obtient une réponse différente. Il est donc indispensable, dans l'optique de mettre au point une méthode instrumentale de mesure de la tendreté, de compléter les mesures de tranchage par des mesures de travail de compression. La viande est un matériel très hétérogène. La variabilité de la même muscle entre différentes carcasses est souvent plus importante que la variabilité intermuscles au sein d'une même carcasse. Ceci complique très certainement les différents travaux d'approche d'une définition objective de la qualité et dès lors de sa mesure. Notre étude ne se veut qu'une contribution à la mesure instrumentale de la tendreté, domaine qui est à l'aube de son développement et pour lequel il reste encore énormément de concepts à affiner et même très certainement à découvrir.

V. Bibliographie

- ADAM, J.J. (1983). Rapport d'activité du Centre Agronomique de Recherche sur la Viande (Section III). Convention I.R.S.I.A. D 1/4-535/4012 A.
- ADAM, J.J. (1984). Etude de la notion de travail en compression en vue de son application dans le domaine de la mesure de la tendreté des viandes. A paraître.
- BENDALL, Jr. (1980). The electrical stimulation of carcasses of meat animals in Developments in Meat Science. R. LAWRIE Editor, pp.37-60. Applied Science Publishers.
- BOCCARD, R. (1980). Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. Livestock Production Science, 8, 385-397.
- BOURNE, M.C. & COMSTOCK, S.M. (1981). Effect of degree of compression on texture profile parameters. Journal of Texture Studies, 12, 201-216.
- CALZADA, J.F. & PELEG, M. (1978). Mechanical interpretation of compression stress-strain relationships of solid foods. J. food Sci., 43, 4, 1061-1067.
- DEMEYER, D. et al. (1983). Prédiction de la tendreté de la viande bovine en mesure de la force de cisaillement maximale et par l'analyse sensorielle. Revue de l'Agriculture, 26, 2, 281-289.
- HOSTETLER, R.L. & DUTSON, T. (1978). Investigations of a rapid method for tenderness evaluation using microwave cooker. J. food Sci., 43, 2, 390-394.
- KAPSALIS, J.G. & SZCZESNIAK, A.S. (1976). Instrumental testing of meat tenderness - Comments on the past, present and future. J. of Texture Studies, 7, 109-113.
- LEPETIT, J. (1982). Comportement rhéologique du tissu musculaire - Thèse de Doctorat, Ing. Clermont-Ferrand DI 123
- NOEL, Y. (1980). Etude des propriétés rhéologiques des corps semi-solides mesurés à des fréquences de 0,5 à 20 Hz. Thèse de Doctorat INA.
- PELEG, M. (1978). Some mathematical aspects of mastication and its simulation by machines. J. food Sci., 43, 4, 1093-1095.
- SZCZESNIAK, A.S. (1977). An overview of recent advances in food texture research. Food Technology, 4, 71-75.