

EFFET DU PH ULTIME SUR LA TENDRETÉ DE LA VIANDE DE PORC

X. FERNANDEZ (1), Eva TORNBORG (2)

(1) I.N.R.A. - Station de Recherches Porcines, 35590 Saint Gilles.

(2) Swedish Meat Research Institute, Box 504, 244 24 Kävlinge, Suède.

Cette expérience a été réalisée d'une part, dans le but d'étudier l'effet du pH ultime (pH_U , 24 h *post mortem*) sur la tendreté de la viande appréciée par analyse sensorielle, et d'autre part, de proposer des explications à cet effet.

Le muscle *Longissimus* a été prélevé après l'abattage sur 13 porcs dont 10 avaient reçu une injection d'adrénaline la veille de l'abattage. Les phénomènes mécaniques accompagnant l'installation de la *rigor mortis* à 12°C (tension isométrique et contraction) ont été mesurés. La réflectance interne (FOP), la longueur des sarcomères, la longueur des myofibrilles (2 et 4 jours *post mortem*) (un indicateur du degré de maturation) et l'exsudation (de 24 à 72 h *post mortem*) ont été également mesurées.

La tendreté était significativement corrélée au pH_U suivant un modèle curvilinéaire ($r = 0,80$, $P < 0,01$). La tendreté diminuait jusqu'à un minimum lorsque le pH variait de 5,4 à approximativement 5,8-6,0 et augmentait au-delà de ces valeurs de pH. Les relations entre les diverses variables mesurées étaient discutées dans le but d'expliquer cet effet. Cependant, les données présentées dans cette étude n'ont pas permis de conclure quant aux mécanismes impliqués dans l'effet du pH sur la tendreté.

Effect of ultimate pH on pork tenderness

The aim of this experiment was to study the effect of the ultimate pH (pH_U , 24 h *post mortem*) on the sensory evaluated tenderness of cooked pork. An attempt was made to provide explanations of this effect.

The *Longissimus* muscles from 13 pigs, 10 of which were injected with adrenaline the day before slaughter, were taken after slaughter. The mechanical changes occurring in *post mortem* muscle held at 12°C during the development of *rigor mortis* (isometric tension and shortening) were measured. Also, internal light scattering (FOP), sarcomere length, myofibrillar length (2 and 4 days *post mortem*) (an indicator of the extent of ageing) and drip loss (from 24 to 72 h *post mortem*) were determined.

Tenderness was significantly related to pH_U , following a quadratic model ($r = 0,80$, $P < 0,01$). Tenderness decreased until a minimum when pH varied from 5.4 to about 5.8-6.0 and increased with further increase in pH. The relationships between the different variables were discussed in an attempt to explain this effect. However from these data, it was not possible to draw clear conclusions with regards to the mechanisms involved in the effect of pH on pork tenderness.

INTRODUCTION

Parmi l'ensemble des facteurs qui influencent la tendreté de la viande, le pH ultime (pH_U) revêt une importance particulière (voir revue par NEWBOLD et HARRIS, 1972). Des relations linéaires positives entre le pH_U et la tendreté estimée aussi bien par analyse sensorielle que par mesure instrumentale, ont été trouvées pour la viande de boeuf (BOUTON et al., 1973a; DRANSFIELD, 1981; BOUTON et al., 1982), d'agneau (ASHGAR et YEATES, 1977) et de lapin (MILES et LAWRIE, 1970). D'autres travaux ont mis en évidence des relations curvilinéaires entre le pH et la tendreté de la viande de boeuf (BOUTON et al., 1973b, FJELKNER-MODIG et RUDERUS, 1983) ou d'agneau (BOUTON et al., 1971). De telles relations ont été obtenues lorsque le pH_U présentait une large amplitude de variation (de 5,4 à 7,0). Une valeur minimale de la tendreté était enregistrée pour des valeurs de pH allant de 5,7 à 6,0.

Plusieurs travaux suggèrent que la relation négative entre la tendreté et le pH_U , lorsque ce dernier varie de 5,4 à 6,0, pourrait être due à une augmentation corrélative du degré de contraction du réseau protéique myofibrillaire. Cette hypothèse est appuyée par une corrélation négative entre le pH_U et la longueur des sarcomères (BOUTON et al., 1973a; CURRIE et WOLFE, 1980; IRVING et al., 1989; PURCHAS, 1990). L'augmentation de la tendreté enregistrée lorsque le pH_U augmente au delà de pH 6,0, a été attribuée à une amélioration conjointe de la capacité de rétention d'eau de la viande (HEGARTY et al., 1963; BOUTON et al., 1972; GAULT, 1985). La relation curvilinéaire entre le pH_U et la tendreté pourrait également refléter des différences dans l'intensité de la protéolyse au cours de la maturation. En effet, les deux complexes enzymatiques qui interviennent dans cette protéolyse (Cathepsines et Calpaïnes) présentent des activités qui dépendent du pH (PENNY et FERGUSSON-PRYCE, 1979; WHIPPLE et al., 1990). Les cathepsines sont plus actives à bas pH alors que les calpaïnes sont plus actives à pH neutre. Ainsi, un minimum d'activité protéolytique pour les pH intermédiaires (entre 5,7 et 6,0) pourrait également expliquer le minimum de tendreté généralement enregistré dans cette zone de pH.

En comparaison des travaux effectués sur la viande de boeuf, l'effet du pH_U sur la tendreté de la viande de porc a été très peu étudié. Les viandes DFD (dark, firm and dry), présentant un pH_U anormalement élevé, sont plus tendres que les viandes normales (LEWIS et al., 1987; WAL van der et al., 1988; JEREMIAH et al., 1990). DRANSFIELD et al. (1985) sont, à notre connaissance, les premiers auteurs ayant trouvé une relation curvilinéaire entre le pH_U et la tendreté de la viande de porc estimée par mesure instrumentale. Ces auteurs ont attribué la bonne tendreté des viandes à haut pH à une forte capacité de rétention d'eau, mais ils n'ont pas discuté les mécanismes pouvant expliquer la diminution de tendreté lorsque le pH_U augmente de 5,4 à 6,0. Récemment, PURCHAS et al. (1990) ont trouvé une relation curvilinéaire entre le pH_U et la tendreté de la viande de porc mais ces auteurs n'ont avancé aucune hypothèse pouvant expliquer les phénomènes observés.

La présente expérience a donc été réalisée dans le but de vérifier l'existence d'une relation curvilinéaire entre le pH_U et la tendreté de la viande de porc appréciée par analyse sensorielle d'une part, et d'essayer de proposer des explications de ce phénomène d'autre part. Pour ce faire, les modifications physiques (tension isométrique et contraction) et physico-

chimiques ont été enregistrées dans le muscle *Longissimus* de porc au cours de l'installation de la *rigor mortis* à une température de 12°C. Certains animaux étaient traités avec de l'adrénaline avant l'abattage afin de diminuer les réserves en glycogène et d'augmenter ainsi le pH ultime.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux et déroulement de l'expérience

Les animaux utilisés étaient des porcs croisés (Landrace x Yorkshire) x Hampshire, abattus à un poids vif variant de 90 à 100 kg. Chaque semaine, 5 porcs étaient transportés de la ferme (Dalby, Suède) à l'abattoir (Kävlinge, Suède) et abattus après un repos de 10 minutes. L'expérience a été répétée sur 7 semaines. Les deux premières semaines, aucun des animaux n'était traité à l'adrénaline. Les 5 semaines suivantes, une injection sous-cutanée d'adrénaline (30 mg par porc) était réalisée entre 15 et 20 h avant l'abattage afin de diminuer les réserves du muscle en glycogène.

A 45 minutes *post mortem*, le pH (pH_1) était mesuré dans le muscle *Longissimus* au niveau de la dernière côte, en utilisant un pH-mètre portable. Deux porcs étaient choisis au hasard parmi les 5 abattus. Sur chacun d'eux, la longe avec os et gras sous-cutané était prélevée 45 minutes *post mortem* et transportée immédiatement au laboratoire où elle était désossée et parée. Un morceau de 5 cm d'épaisseur était prélevé, au niveau de la dernière côte, pour les mesures mécaniques. Un échantillon de 15 cm de longueur était prélevé, en arrière de la dernière côte pour les mesures de pH et de réflectance interne (FOP). Le reste était divisé en deux morceaux, conditionné sous-vide en sachet plastique et placé à 12°C jusqu'à ce que la rigor soit complètement installée, ce moment étant déterminé à partir des mesures de pH et des enregistrements mécaniques. Les échantillons étaient ensuite placés à 4°C.

Un des animaux choisis sur la chaîne d'abattage a présenté une valeur de pH à 1,5 h *post mortem* égale à celle obtenue à 45 minutes *post mortem* (pH 7,0). Il a été exclu de l'expérience car la rigor était installée avant que les mesures mécaniques ne puissent être effectuées. Cette étude concerne donc 13 porcs. Un effectif plus important n'était pas envisageable en raison du coût élevé de cette expérience.

1.2. Tension isométrique et raccourcissement

1 h après l'abattage, deux échantillons cylindriques étaient découpés dans le sens des fibres et placés dans le rigoromètre décrit par TORNBERG et LARSSON (1986) à une température constante de 12°C. Le développement de la tension isométrique (force développée lorsque le muscle est maintenu à longueur constante) et le raccourcissement étaient enregistrés automatiquement durant les 24 premières heures suivant l'abattage. La tension maximale est exprimée en kilo Pascal (kPa) et le raccourcissement maximal en pourcentage de la longueur initiale, c'est à dire la longueur au moment où l'échantillon est placé dans l'appareil de mesure.

1.3. pH et réflectance interne

Le pH était mesuré en utilisant un pH-mètre portable et la réflectance interne au moyen de la fibre optique (FOP) développée au Royaume Uni («TBL Fibre Optics», Leeds, UK). Les mesures étaient effectuées 24 h après l'abattage.

1.4. Longueur des sarcomères

À 24 heures après l'abattage, un échantillon était prélevé au centre du muscle *Longissimus*, découpé en petits morceaux suivant le sens des fibres et fixé en utilisant la technique de CROSS et al. (1980-81). La largeur de la bande de diffraction des sarcomères était mesurée sous un rayon laser (hélium-néon) à 632,8 nm de longueur d'onde (VOYLE, 1971) et la longueur calculée en utilisant la formule de CROSS et al. (1980-81).

1.5. Longueur des myofibrilles

La longueur des myofibrilles était déterminée pour chaque échantillon à 2 et 4 jours après l'abattage. Approximativement 5 g de muscle étaient découpés en petits morceaux et placés dans un milieu d'incubation (milieu-I, 100mM KCl, 20mM K-phosphate, 1mM EDTA, 1mM Na₃N). La préparation était homogénéisée pendant 60 s à 1100 t/mn. L'homogénat ainsi obtenu était centrifugé à 2°C pendant 15 mn à 1000g. Après élimination du surnageant, 25 ml de milieu-I étaient ajoutés et la préparation agitée. 1 ml de la suspension obtenue était à nouveau dilué avec 25 ml de milieu-I. Une goutte de préparation était placée sur une lame et observée sous microscope optique en contraste de phase. L'agrandissement était constant pour tous les échantillons (x 1340). Plusieurs photographies étaient prises (entre 4 et 6). La longueur des fragments de myofibrilles était mesurée sur les épreuves en utilisant un système d'analyse d'images («Labeye System», Innovativ vision AB, Linköping, Suède). Les longueurs sont exprimées en mm. L'indice de fragmentation des myofibrilles («Myofibrillar Fragmentation Index, MFI») était calculé en divisant la longueur à 4 jours par la longueur à 2 jours *post mortem* (en %). Le MFI est donc un indicateur de l'intensité des phénomènes de maturation sur une période donnée (dans notre cas, entre 2 et 4 jours après la mort).

1.6. Exsudat

La perte d'eau d'échantillons de muscle placés en sachet plastique et suspendus en chambre froide (4°C) était mesurée (WARRIS, 1982; HONIKEL et al., 1986). Le poids de tranche était enregistré 24 h et 72 h après l'abattage. Les pertes de poids sont exprimées en pourcentage du poids initial.

1.7. Analyse sensorielle

Des tranches de 1,5 cm d'épaisseur étaient découpées 4 jours après l'abattage, mises sous vide et cuites dans un bain-marie (température interne 68°C, durée 20 mn). Les pertes au cours de la cuisson étaient mesurées. Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids avant cuisson. L'analyse sensorielle était réalisée par un jury entraîné constitué de 15 hommes et femmes. La tendreté et la jutosité étaient estimées sur une échelle discrète à 9 points: de 1= très dur, très sec à 9= très tendre, très juteux, respectivement.

1.8. Analyse statistique

Les régressions linéaires et curvilinéaires entre les différentes variables ont été analysées en utilisant la procédure «GLM» du programme SAS. La régression entre le pH_U et l'exsudat était analysée suivant un modèle segmenté curvilinéaire avec pla-

teau, comme suit:

$$\begin{aligned} \text{exsudat} &= a + b \cdot \text{pH}_U + c \cdot \text{pH}_U^2 && \text{si } \text{pH}_U < \text{pH}_{U0} \\ \text{exsudat} &= p && \text{si } \text{pH}_U \geq \text{pH}_{U0} \end{aligned}$$

Le choix de ce modèle était basé sur l'observation des courbes représentant les variations d'exsudat en fonction du pH. La procédure utilisée permet d'estimer les paramètres de la régression (a, b et c), le point de convergence (pH_{U0}) et le plateau (p).

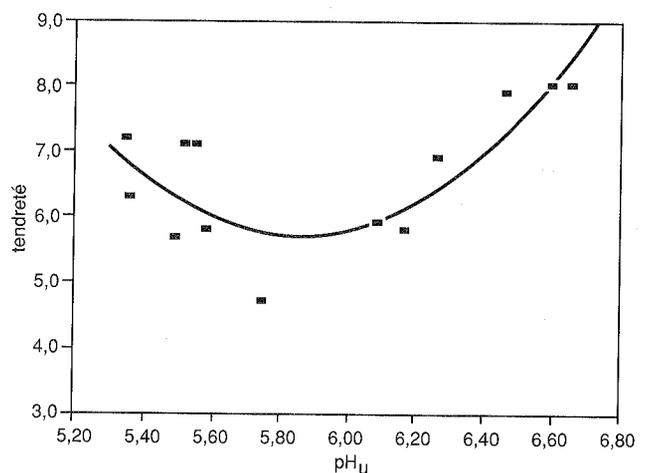
2. RÉSULTATS

La figure 1 illustre la relation entre le pH_U et le score obtenu pour la tendreté. Le modèle curvilinéaire a donné un meilleur résultat que celui obtenu avec un modèle linéaire pour l'estimation de l'équation de régression. L'équation obtenue était la suivante:

$$\text{tendreté} = 153,4 - 50,4 \cdot \text{pH}_U + 4,3 \cdot \text{pH}_U^2, P < 0,01$$

Le coefficient de corrélation était r=0,80. En d'autres termes, dans cette étude, 64 % des variations de tendreté étaient expliquées par des variations de pH_U. Il apparaît que des valeurs minimales de tendreté étaient obtenues pour des valeurs de pH situées entre 5,8 et 6,0 approximativement (figure 1). Néanmoins, ce résultat doit être considéré avec prudence car il n'y avait qu'un seul point se situant dans cette zone de pH.

Figure 1 - Relation entre le pH ultime (pH_U) et la tendreté mesurée par analyse sensorielle et notée sur une échelle discrète à 9 points.



Le tableau 1 donne les coefficients de corrélation obtenus entre la tendreté, le pH_U et les autres variables étudiées. Les relations les plus intéressantes sont illustrées sur la figure 2. Une augmentation du pH_U de 5,35 à 6,70 s'accompagnait d'une diminution corrélative de la réflectance interne (FOP, P < 0,01), des pertes à la cuisson (P < 0,001), de la longueur des sarcomères (P < 0,05) et de l'index de fragmentation des myofibrilles (MFI, P < 0,05). Le modèle segmenté utilisé pour tester la régression entre le pH_U et l'exsudat a donné un résultat très significatif (Tableau 2). L'exsudat diminuait

Tableau 1 - Coefficients de corrélations entre la tendreté, le pH ultime (pH_U) et l'ensemble des variables mesurées.

	tendreté	pH _U
pH ₁	0,19	0,76***
pH _U	0,80** (C)	-
FOP _U	- 0,49	- 0,94***
Exsudat	- 0,11	- 0,92*** (S)
Pertes à la cuisson	- 0,47	- 0,94***
Longueur des sarcomère	- 0,15	- 0,66*
Longueur des myofibrilles 2 j p.m.	0,57*	0,87***
Longueur des myofibrilles 4 j p.m.	0,50	0,76**
MFI	0,01	- 0,65*
Jutosité	0,25	- 0,10
Tension maximale	- 0,24	0,63 (P=0,07)(C)
Raccourcissement maximum	- 0,06	0,44

La signification statistique des coefficients de corrélation est notée: ***, P < 0,001; **, P < 0,01; *, P < 0,05.

Les coefficients sans indication n'étaient pas significatifs au niveau P = 0,05.

(C), coefficient de corrélation pour le modèle curvilinéaire

(S), coefficient de corrélation pour le modèle segmenté curvilinéaire avec plateau.

Tous les autres coefficients sont pour le modèle linéaire.

curvilinéairement lorsque le pH augmentait jusqu'à une valeur dite «point de convergence» (pH_U 6,03) au dessus de laquelle un plateau était atteint. Les longueurs de myofibrilles étaient positivement corrélées avec le pH_U (P < 0,001 et P < 0,01 pour les longueurs à 2 et 4 jours, respectivement). Il convient de souligner l'existence d'une tendance vers une relation curvilinéaire entre le pH_U et la valeur maximale de tension

isométrique (r = 0,63, P = 0,07, Figure 2).

Alors que le pH_U était significativement corrélé avec une grande partie des variables étudiées, la seule corrélation significative obtenue pour la tendreté était celle concernant la relation entre cette dernière et la longueur des myofibrilles 2 jours *post mortem* (r=0,57, P < 0,05).

Tableau 2 - Résultats de la régression entre le pH ultime (pH_U) et l'exsudat (en %) suivant un modèle segmenté curvilinéaire avec plateau

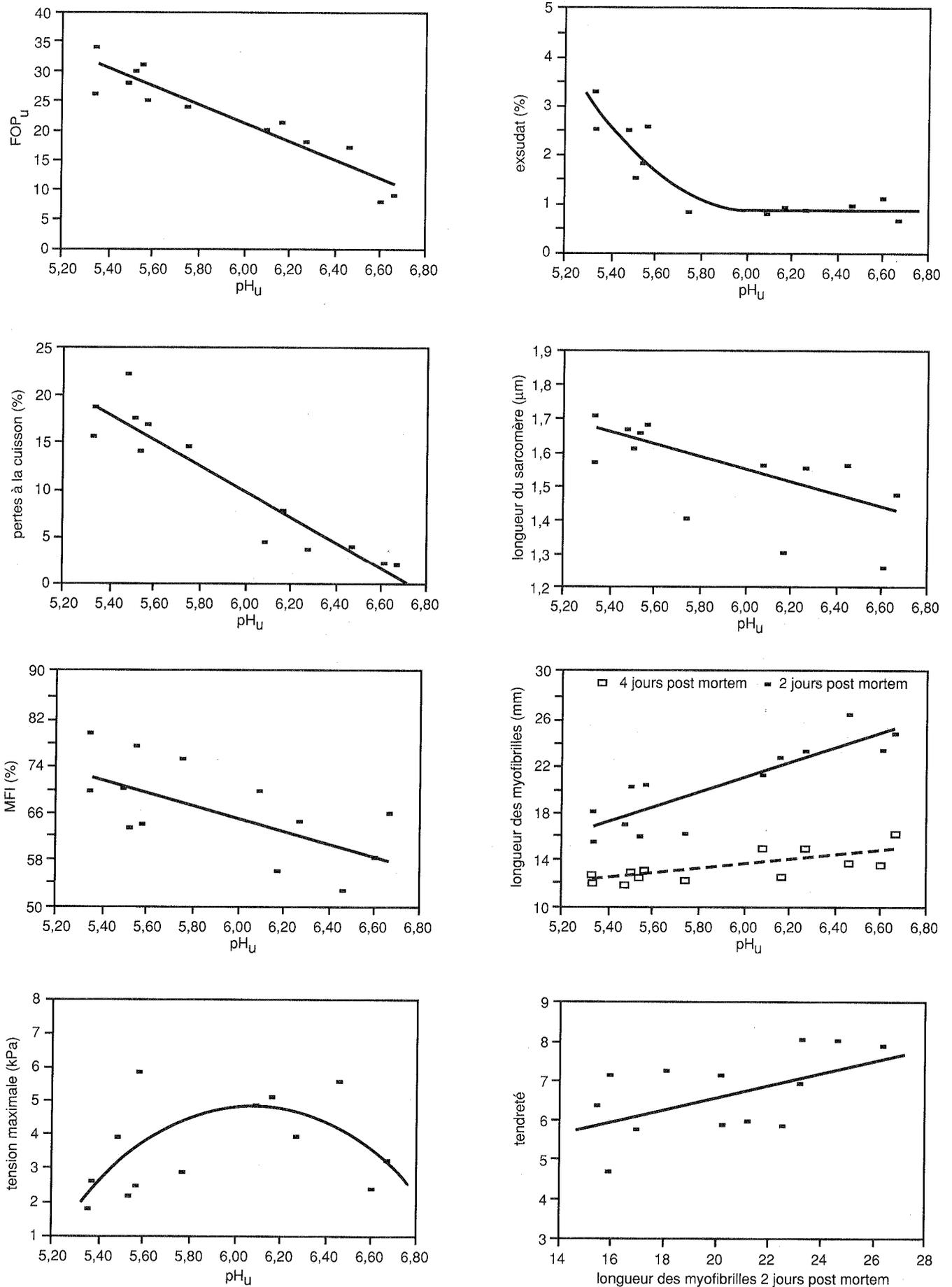
Modèle	Signification du modèle
Exsudat = 164.7 - 54.3*pH _U + 4.5*pH _U ² , pour pH _U < 6.17	P < 0.001
Exsudat = 1.0, pour pH _U ≥ 6.17	

3. DISCUSSION

Ces résultats mettent en évidence une relation très étroite entre la tendreté de la viande de porc, appréciée par analyse sensorielle, et le pH_U. Ils sont en accord avec des travaux antérieurs montrant l'existence d'une relation curvilinéaire entre le pH et la tendreté de la viande de porc (DRANSFIELD et al., 1985; PURCHAS et al., 1990). Il convient de noter que la zone de pH pour laquelle une tendreté minimale était apparemment obtenue (5,8-6,0), correspond à celles rapportées par DRANSFIELD et al. (1985) et PURCHAS et al. (1990). La variabilité des scores de tendreté était importante (de 4,7 à 8,0) et il semble probable que de telles différences seraient perçues par le consommateur.

Afin d'essayer d'expliquer l'effet du pH sur la tendreté de la viande, nous avons dans cette étude calculé les coefficients de corrélation entre le pH_U, la tendreté et d'autres variables susceptibles d'expliquer des différences de tendreté. Plusieurs auteurs ont montré que l'augmentation de tendreté liée à une augmentation de pH était due à une amélioration corrélative du pouvoir de rétention d'eau de la viande (HEGARTY et al., 1963; BOUTON et al., 1972; GAULT, 1985). Les résultats de la présente étude ne permettent pas de conclure en ce qui concerne la relation entre le pouvoir de rétention d'eau et la tendreté. En effet, aucune corrélation entre le tendreté et l'exsudat n'a été mise en évidence. Il est possible que la mesure d'exsudat ne soit pas une estimation assez précise du pouvoir de rétention d'eau, en particulier

Figure 2 - Relation entre le pH ultime (pH_U) et les variables mesurées et entre la tendreté et la longueur des myofibrilles 2 jours post mortem.



pour des valeurs de pH supérieures à 6,0, comme l'indique l'absence de relation entre le pH_U et l'exsudat au dessus du point de convergence (Figure 2). LEWIS et al. (1987) ont suggéré que la bonne tendreté des viandes à pH élevé est due à une teneur en eau importante dans la viande cuite. Cette teneur élevée en eau induirait une structure plus ouverte de la viande associée à une bonne tendreté (DRANSFIELD, 1981). Dans notre étude, une bonne corrélation entre le pH_U et les pertes à la cuisson a été trouvée. Néanmoins, le coefficient de corrélation doit être considéré avec prudence à cause de la distribution particulière (séparation en deux groupes) des valeurs de pertes à la cuisson (voir Figure 2). Il n'en est pas moins vrai que les pertes à la cuisson dépendent du pH_U . Toutefois, il est difficile de conclure quant à leur importance au regard de la tendreté car la corrélation obtenue entre ces deux variables était faible et non significative (voir Tableau 2).

Comme nous l'avons déjà mentionné dans l'introduction, les deux complexes enzymatiques responsables de la protéolyse *post mortem*, présentent des activités qui dépendent du pH, l'un étant plus actif à pH bas (cathepsines) et l'autre à pH neutre (calpaines). Par conséquent, il serait logique d'obtenir une relation curvilinéaire entre le pH_U et le degré de maturation. Si l'on considère la mesure de la longueur des myofibrilles comme un indicateur du degré de maturation, nos résultats ne mettent pas en évidence une telle relation mais ils montrent l'existence d'une régression linéaire positive. Ce résultat semble donc indiquer l'absence d'une activation des calpaines pour des valeurs de pH proches de la neutralité. Des intensités de maturation plus importantes pour les haut et bas pH auraient pu expliquer en partie l'effet du pH sur la tendreté. Cependant, la relation entre la longueur des myofibrilles 2 jours *post mortem* et la tendreté était positive.

Dans cette étude, les transformations d'ordre mécanique survenant dans le muscle après l'abattage ont été enregistrées, afin d'étudier leur variation en fonction du pH et d'expliquer ainsi des différences de tendreté. Certaines variables

relatives aux changements mécaniques accompagnant l'installation de la *rigor mortis*, i.e. tension isométrique maximale et longueur des sarcomères, étaient corrélées au pH_U . Cependant, aucune corrélation significative avec la tendreté n'a été trouvée.

CONCLUSION

Ces résultats confirment l'existence d'une relation curvilinéaire entre le pH_U et la tendreté de la viande de porc appréciée par analyse sensorielle. La relation était dans ce cas très étroite puisque les variations de pH expliquaient 64 % des variations de tendreté enregistrées. Cependant, l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude n'a pas permis de conclure sur les mécanismes impliqués dans l'effet du pH sur la tendreté.

Le pH_U de la viande est déterminé principalement par la teneur du muscle en glycogène au moment de l'abattage (BENDALL, 1973). Les facteurs de variation de la concentration musculaire en glycogène sont nombreux, les principaux étant le stress qui survient dans la période précédant l'abattage et le type génétique (pour une revue, voir FERNANDEZ et TORNBERG, 1991). Ainsi, la maîtrise des conditions d'abattage visant à réduire la mobilisation du glycogène musculaire et de ce fait la fréquence des viandes présentant des valeurs de pH intermédiaires (entre 5,7 et 6,0), conduirait probablement à une nette amélioration de la tendreté. L'augmentation des pertes à la cuisson accompagnant la diminution du pH_U , ne semble pas être un facteur limitant de la tendreté. Nos résultats montrent en effet que les échantillons présentant un pH_U bas (< 5,5) ont une bonne tendreté, ceci malgré des pertes à la cuisson importantes. On peut par ailleurs imaginer que dans le cas d'une production sous label pour laquelle la qualité de la viande fraîche, et en particulier la tendreté, est un facteur important, le choix d'animaux présentant un pH_U généralement bas dans la longe (< 5,5), tels que des porcs Hampshire ou croisés Hampshire, puisse être un moyen de s'assurer de la production d'une viande tendre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASHGAR A., YEATES N.T.M., 1977. J. Sci. Food Agric., 28, 1-10.
- BENDALL J.R., 1973. In: *Structure and function of muscle*, ed. G.H. Bourne. Academic Press, New York, pp 243-309.
- BOUTON P.E., HARRIS P.V., SHORTOSE W.R., 1971. J. Food Sci., 36, 435-439.
- BOUTON P.E., HARRIS P.V., SHORTOSE W.R., 1972. J. Food Sci., 37, 351-355.
- BOUTON P.E., CARROLL F.D., HARRIS P.V., SHORTOSE W.R., 1973a. J. Food Sci., 38, 404-407.
- BOUTON P.E., CARROLL F.D., FISHER A.L., HARRIS P.V., SHORTOSE W.R., 1973b. J. Food Sci., 38, 816-820.
- BOUTON P.E., HARRIS P.V., MACFARLANE J.J., SHORTOSE W.R., 1982. Meat Sci., 6, 27-36.
- CROSS H.R., WEST R.L., DUTSON T.R., 1980-81. Meat Sci., 5, 261-266.
- CURRIE R.W., WOLFE F.H., 1980. Meat Sci., 4, 123-143.
- DRANSFIELD E., 1981. Current Topics Vet. Med. Anim. Sci., 10, 344-358.
- DRANSFIELD E., NUTE G.R., MOTTRAM D.S., ROWAN T.G., LAWRENCE T.J.L., 1985. J. Sci. Food Agric., 36, 546-556.
- FERNANDEZ X., TORNBERG E., 1991. J. Muscle Foods, 2, 209-235.
- FJELKNER-MODIG S., RUDERUS H., 1983. Meat Sci., 8, 203-220.
- GAULT N.F.S., 1985. Meat Sci., 15, 15-30.
- HEGARTY G.R., BRATZLER L.J., PEARSON A.M., 1963. J. Food Sci., 28, 525-530.
- HONIKEL K.O., KIM C.J., HAMM R., 1986. Meat Sci., 16, 267-282.
- IRVING T.C., SWATLAND H.J., MILLMAN B.M., 1989. J. Anim. Sci., 67, 152-156.
- JEREMIAH L.E., MURRAY A.C., GIBSON L.L., 1990. Meat Sci., 27, 305-327.
- LEWIS P.K., RAKES L.Y., NOLAND P.R., BROWN C.J., 1987. Meat Sci., 21, 137-144.
- MILES C.L., LAWRIE R.A., 1970. J. Food Technol., 5, 325-330.
- NEWBOLD R.P., HARRIS P.V., 1972. J. Food Sci., 37, 337-340.
- PENNY I.F., FERGUSSON-PRYCE R., 1979. Meat Sci., 3, 121-134.
- PURCHAS R.W., 1990. Meat Sci., 27, 129-140.
- PURCHAS R.W., SMITH W.C., PEARSON G., 1990. New Zeal. J. Agric. Res., 33, 97-104.
- TORNBERG E., LARSSON G., 1986. Proceed. 32nd Eur. Meet. Meat Res. Workers, Ghent, 85-88.
- VOYLE C.A., 1971. Proceed. 17th Eur. Meet. Meat Res. Workers, Bristol, 95-97.
- WAL van der P.G., BOLINK A.H., MERKUS G.S.M., 1988. Meat Sci., 24, 79-84.
- WARRIS P.D., 1982. J. Food Technol., 17, 573-578.
- WHIPPLE G., KOOHMARAIE M., DIKEMAN M.E., CROUSE J.D., 1990. J. Anim. Sci., 68, 3654-3662.