

Activités enzymatiques métaboliques et contractiles de 30 muscles du Porc. Relations avec le pH ultime atteint après la mort

Dominique LABORDE ⁽¹⁾, A. TALMANT, G. MONIN

avec la collaboration technique de R. DAUZAT, J. F. GARDETTE et P. VERNIN

*Station de Recherches sur la Viande
I.N.R.A., Theix 63122 Ceyrat, France.*

Summary. *Enzyme, metabolic and contractile activities in 30 pig muscles and their relationship with ultimate postmortem pH.*

This paper presents a study of the metabolic and contractile types of 34 samples from 30 muscles in five crossbred Pietrain-Large White pigs 6 to 7 months old. The activity of the following enzymes was measured : glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH), lactate dehydrogenase using high (LDH-h) or low (LDH-b) pyruvate concentrations in the reaction medium, citrate synthase (CS), and myofibrillar Ca-Mg activated ATPase. Haeminic iron and ultimate pH (pHu) were measured on the same samples. The results showed a negative, rather linear relationship between GAPDH, LDH and ATPase activities on the one hand and CS and haeminic iron on the other. Rather high correlations ($r = 0.7$ to 0.8) were observed between metabolic and contractile criteria and pHu ; the red (slow) muscles had the highest pHu.

Introduction.

Les types métabolique et contractile musculaires influencent notablement — et éventuellement chacun d'une façon différente — les caractéristiques technologiques et organoleptiques de la viande (Monin et Touraille, 1983). Pour étudier les modalités et l'étendue de ces influences, il est souvent utile de choisir quelques muscles de types métabolique et contractile bien caractérisés. Dans ce domaine, en ce qui concerne le Porc, la littérature scientifique est de peu de secours, car peu d'auteurs ont étudié simultanément plus de trois ou quatre muscles. Signalons Beecher *et al.* (1965) et surtout Jorgensen (1981) avec une étude portant sur trente muscles. Cependant ces auteurs n'apportent pas d'appréciation du type contractile.

⁽¹⁾ Adresse nouvelle : C.E.M.A.G.R.E.F., Parc de Tourvoie, 92160 Antony.

Nous avons entrepris de caractériser les types métabolique et contractile d'une trentaine de muscles de la carcasse du Porc, en fondant notre choix sur les résultats des auteurs précédemment cités, mais aussi sur ceux de Goutefongea et Charpentier (1966) qui ont réalisé une étude topographique étendue (51 échantillons représentant 45 muscles) de la musculature du Porc, des points de vue du pH, de la couleur et du pouvoir de rétention d'eau. Nous avons considéré essentiellement des muscles d'assez grande taille, un poids de plusieurs dizaines, voire de plusieurs centaines de grammes étant souvent souhaitable pour la mesure des qualités organoleptiques ou technologiques. Les exceptions à ce critère concernent des muscles qui nous paraissent intéressants par leur rôle physiologique et/ou leur position anatomique (*Masseter*, *Flexor*, par exemple). Le type métabolique a été apprécié par des activités enzymatiques glycolytiques et oxydatives mitochondriales, le type contractile grâce à l'activité ATPasique myofibrillaire activée par le calcium et le magnésium.

Matériel et méthodes.

L'étude a utilisé cinq porcs croisés Piétrain-Large White, de l'élevage expérimental de l'I.N.R.A. à Avord (18), pesant environ 100 kg et âgés de 6 à 7 mois. Ces animaux étaient abattus par électronarcose et saignée. Immédiatement après l'abattage, les trente muscles choisis (tabl. 1) étaient prélevés le plus rapidement possible sur la demi-carcasse droite.

Après un parage soigneux des muscles (aponévrose et gras), une tranche de quelques dizaines de grammes était prélevée dans la partie médiane pour les plus gros, et immédiatement broyée dans un broyeur ménager à couteau ; les petits muscles étaient broyés en totalité. Des échantillons de broyat étaient répartis dans des tubes à centrifuger contenant les solutions destinées à l'extraction des myofibrilles et aux déterminations d'activités enzymatiques glycolytiques et oxydatives mitochondriales. Le reste du broyat était conservé au réfrigérateur (+ 2 à +4 °C) jusqu'au lendemain, et était utilisé pour la détermination du pH et de la teneur en fer héminique.

1 — *Mesure des activités enzymatiques glycolytiques et oxydatives mitochondriales.* — Un gramme de muscle était homogénéisé dans 20 ml de tampon (glycyl-glycine 63 mM ; saccharose 500 mM ; EDTA 6,2 mM ; NaF 125 mM ; dithiothréitol 5 mM ; pH 7,4) à l'aide d'un Polytron PT 10-35 à vitesse maximale pendant 20 secondes. Les homogénats étaient conservés 1 h au froid (+ 2 à + 4 °C) puis centrifugés 20 min à 2 000 g. Les activités suivantes étaient mesurées sur le surnageant : citrate-synthase (CS) selon la technique de Srere (1969) ; déshydrogénase lactique (LDH) selon la méthode d'Ansay (1974) aux concentrations 0,33 et 10 mM en pyruvate ; glycéraldéhyde-3-phosphate déshydrogénase (GAPDH) selon la méthode de Bergmeyer (1974). Les mesures étaient effectuées à une température de 30 °C, et les résultats exprimés par gramme de protéines de l'homogénat initial (teneur en protéines estimée par le dosage de l'azote par microkjeldahl et application d'un coefficient 6,25).

TABLEAU 1

Liste des muscles étudiés.

| N° muscle | Nom français | Nom latin | Ordre de prélèvement |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| 1 | Diaphragme médian | <i>Diaphragma</i> | 1 |
| 2 | Fléchisseur externe des phalanges | <i>Flexor digitorum longus</i> | 33 |
| 3 | Masseter | <i>Masseter</i> | 34 |
| 4 | Trapèze | <i>Trapezius</i> | 22 |
| 5 | Droit de l'abdomen | <i>Rectus abdominis</i> | 5 |
| 6 | Sus-épineux | <i>Supraspinatus</i> | 25 |
| 7 | Sous-épineux | <i>Infraspinatus</i> | 24 |
| 8 | Gros anconé (partie foncée) | <i>Triceps brachii caput longum</i> | 26 |
| 9 | Grand psoas | <i>Psoas major</i> | 8 |
| 10 | Oblique interne | <i>Obliquus internus abdominis</i> | 7 |
| 11 | Fessier profond | <i>Gluteus profundus</i> | 10 |
| 12 | Dentelé du cou | <i>Serratus ventralis cervicis</i> | 29 |
| 13 | Sous-scapulaire | <i>Subscapularis</i> | 23 |
| 14 | Transverse de l'abdomen | <i>Transversus abdominis</i> | 6 |
| 15 | Grand dentelé | <i>Serratus ventralis thoracis</i> | 28 |
| 16 | Oblique externe | <i>Obliquus externus abdominis</i> | 20 |
| 17 | Fléchisseur superficiel des phalanges | <i>Flexor digitorum superficialis</i> | 32 |
| 18 | Demi-tendineux | <i>Semitendinosus</i> | 16 |
| 19 | Gastrocnémien externe | <i>Gastrocnemius lateralis</i> | 30 |
| 20 | Gastrocnémien interne | <i>Gastrocnemius medialis</i> | 31 |
| 21 | Pectoral profond | <i>Pectoralis profundus</i> | 21 |
| 22 | Droit antérieur | <i>Rectus femoris</i> | 19 |
| 23 | Adducteur de la cuisse | <i>Adductor</i> | 13 |
| 24 | Demi-membraneux (partie foncée) | <i>Semimembranosus</i> | 14 |
| 25 | Gros anconé (partie claire) | <i>Triceps brachii caput longum</i> | 27 |
| 26 | Long dorsal (D13/L1) | <i>Longissimus dorsi</i> | 3 |
| 27 | Fessier moyen | <i>Gluteus medius</i> | 11 |
| 28 | Long vaste | <i>Biceps femoris</i> | 17 |
| 29 | Long dorsal (L4) | <i>Longissimus dorsi</i> | 2 |
| 30 | Fessier superficiel | <i>Gluteus superficialis</i> | 12 |
| 31 | Long dorsal (D8) | <i>Longissimus dorsi</i> | 4 |
| 32 | Vaste externe | <i>Vastus lateralis</i> | 18 |
| 33 | Demi-membraneux (partie claire) | <i>Semimembranosus</i> | 15 |
| 34 | Tenseur du fascia lata | <i>Tensor fasciae latae</i> | 9 |

Les muscles sont numérotés dans l'ordre croissant d'activité ATPasique.

TABLEAU 2

Coefficients de corrélation entre les diverses variables mesurées.
Tous les coefficients sont significatifs au seuil de 1 %.

| | pHu | ATPase | Fer | CS | GAPDH | LDH-h | LDH-b |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pHu | 1 | - 0,74 | 0,68 | 0,56 | - 0,72 | - 0,77 | - 0,77 |
| ATPase | | 1 | - 0,85 | - 0,56 | 0,74 | 0,77 | 0,77 |
| Fer | | | 1 | 0,66 | - 0,82 | - 0,83 | - 0,82 |
| CS | | | | 1 | - 0,58 | - 0,68 | - 0,65 |
| GAPDH | | | | | 1 | 0,92 | 0,93 |
| LDH-h | | | | | | 1 | 0,80 |
| LDH-b | | | | | | | 1 |

2 — *Mesure de l'activité ATPasique myofibrillaire.* — Un gramme de muscle haché était homogénéisé dans 9 ml de tampon (imidazole 20 mM ; KCl 80 mM ; oxalate de K 5 mM ; pH 7,4) à l'aide d'un Polytron PT 10-35, à vitesse maximale pendant 20 s. L'homogénat était conservé au froid (+ 2 °C à + 4 °C) pendant 1 h, puis centrifugé à 2 000 g pendant 20 min. Le culot de centrifugation était lavé 4 fois par suspension dans 9 ml de KCl 0,05 M. L'ensemble des opérations était mené à une température de l'ordre de + 5 °C.

L'activité ATPasique des myofibrilles était mesurée par la méthode du pH stationnaire dans le milieu suivant : MgCl₂ 5 mM ; CaCl₂ 0,25 mM ; KCl 160 mM ; ATP 5 mM ; pH 7,4 ; température 30 °C. On utilisait un titrigraphe Titrator Radiometer, avec de la potasse environ 10 mM. Les résultats étaient exprimés en meq KOH/g protéines/min (teneur en protéines de l'extrait myofibrillaire estimée par le dosage de l'azote par microkjeldahl et application du coefficient 6,25).

3 — *Mesure du pH.* — Le pH était mesuré le lendemain de l'abattage en plaçant l'électrode d'un pH mètre Radiometer 29 directement au contact du muscle broyé.

4 — *Dosage des pigments.* — La teneur du muscle en fer héminique était mesurée par la méthode de Hornsey (1956).

Résultats.

Dans toutes les figures, les muscles sont classés par ordre croissant d'activité ATPasique.

1 — *Activité ATPasique myofibrillaire.* — Les activités ATPasiques myofibrillaires varient de 0,25 à 0,60. Le *Diaphragma*, les *Flexor*, le *Trapezius* et le *Rectus abdominis* montrent les activités les plus faibles ; le *Tensor fasciae latae*, la partie claire du *Semimembranosus* et le *Vastus lateralis* ont les activités les plus élevées (fig. 1).

2 — *Activités glycolytiques.* — La figure 2 illustre les résultats relatifs aux activités GAPDH. Les activités GAPDH extrêmes sont dans un rapport de 1 à 3. Les valeurs les plus faibles sont observées dans les muscles *Masseter*, *Diaphragma*, *Flexor*, *Trapezius* et *Infraspinatus*. Les *Longissimus dorsi* et *Gluteus superficialis* ont les activités les plus élevées.

Les résultats obtenus pour les activités LDH (fig. 3) sont très comparables à ceux obtenus pour la GAPDH, les valeurs extrêmes étant observées dans les mêmes muscles que précédemment. Les activités LDH à haute concentration en pyruvate (LDH-h) varient dans un rapport de 1 à 5, les LDH à basse concentration (LDH-b) de 1 à 4,5. Le rapport LDH-b/LDH-h varie peu, de 1,35 pour l'*Infraspinatus* à 0,96 pour l'*Obliquus internus*, et la relation entre les deux types de LDH est assez étroite ($r = 0,8$).

3 — *Activité citrate-synthase et teneur en pigments.* — Les activités citrate-synthase sont les plus élevées dans les muscles *Triceps brachii lateralis* (partie foncée), *Infraspinatus*, *Masseter* et *Trapezius*, et les plus faibles dans les *Longissimus dorsi* et *Tensor fasciae latae* (fig. 4). Le rapport entre les activités extrêmes est de 1 à 3.

La variabilité totale des teneurs en fer héminique est beaucoup plus forte (fig. 5), mais si l'on excepte les muscles *Diaphragma* et *Masseter*, on retrouve un rap-

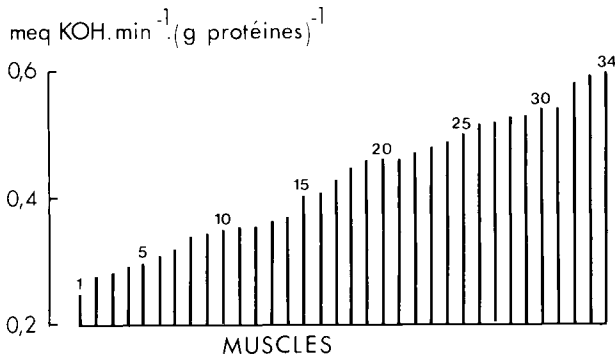


FIG. 1. — Activités ATPasiques myofibrillaires.

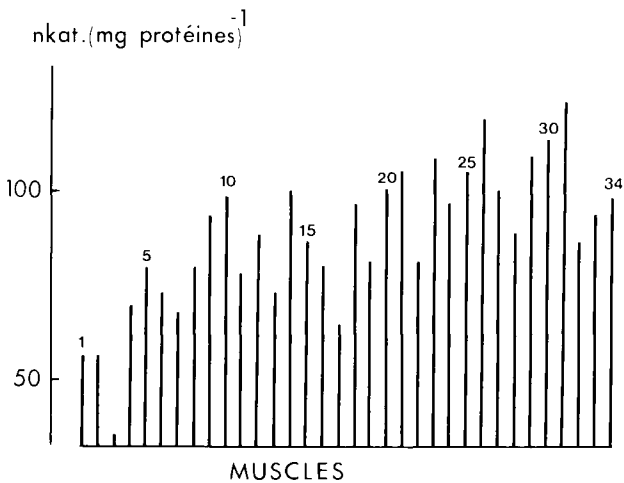


FIG. 2. — Activités GAPDH. nkat : nanokatal (katal : activité enzymatique transformant une mole de substrat par seconde).

port entre valeurs extrêmes de l'ordre de 1 à 3. On peut considérer comme « blancs » les *Longissimus dorsi*, les *Gluteus medius* et *superficialis*, la partie claire du *Semimembranosus* ; comme « rouges » : les *Flexor*, l'*Infraspinatus*, le *Supraspinatus*, le *Trapezius* et le *Gluteus profundus*.

4 — Relations entre les critères des types métabolique et contractile. — La comparaison des figures 1 à 5 révèle des relations assez nettes entre les divers critères d'appréciation des types métabolique et contractile. Globalement, les activités glycolytiques tendent à augmenter, alors que l'activité CS et la teneur en fer héminique tendent à diminuer avec l'élévation de l'activité ATPasique. Les coefficients de corrélation entre ces diverses variables sont rapportés dans le tableau 2. Notons que les liaisons sont nettement meilleures avec le fer héminique qu'avec la CS, quelle que soit l'activité (ATPasique ou glycolytique) considérée.

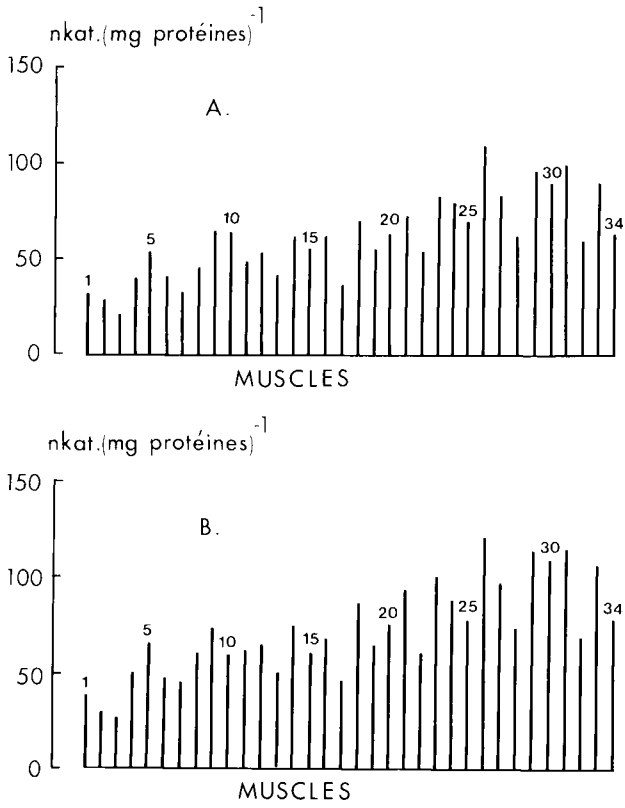


FIG. 3. — *Activités LDH*. A : 10 mM pyruvate ; B : 0,33 mM pyruvate.

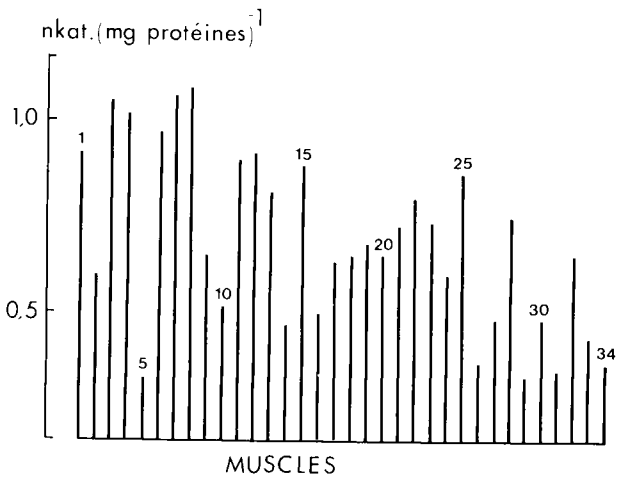


FIG. 4. — *Activités citrate-synthase*.

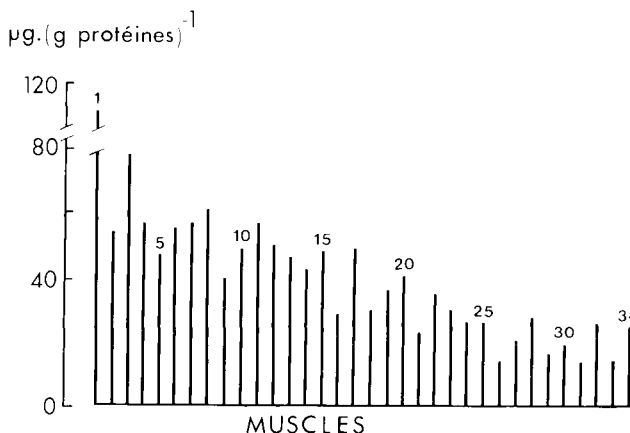


FIG. 5. — Fer héminique.

Le coefficient de corrélation entre les deux paramètres liés à la respiration, CS et fer héminique, est assez faible ($r = 0,66$). Si, dans l'ensemble les muscles les plus riches en pigment manifestent aussi les plus fortes activités CS, il y a quelques exceptions notables : le *Rectus abdominis*, bien que possédant une teneur en fer héminique nettement supérieure à la moyenne, a une activité CS faible ; à l'inverse, la partie claire du *Triceps brachii lateralis* associée à une forte activité CS un faible taux de fer héminique.

5 — Valeurs du pH et relations avec les critères des types métabolique et contractile. — Le pH ultime (pHu) est très variable suivant les muscles (fig. 6). Le *Longissimus dorsi* présente le pH ultime le plus bas avec 5,32, alors que le *Subscapularis* a le pHu le plus élevé (5,86), suivi des *Supraspinatus* et *Masseter* avec 5,74. La différence entre les pHu extrêmes dépasse ainsi une demi-unité pH.

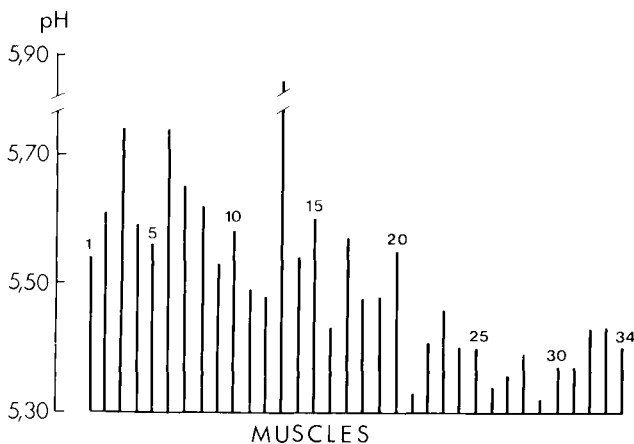


FIG. 6. — pH ultimes.

Les coefficients de corrélation entre le pH_u et les critères des types métabolique et contractile sont assez élevés, de l'ordre de 0,7 à 0,8 (tabl.2). D'une façon générale, le pH_u varie dans le même sens que les activités oxydatives et le fer héminique, et en sens inverse des activités ATPasiques et glycolytiques ; la relation, particulièrement nette, avec la teneur en fer héminique est illustrée dans la figure 7. Ce sont les muscles rouges qui, si l'on excepte le *Subscapularis*, montrent les pH_u les plus élevés.

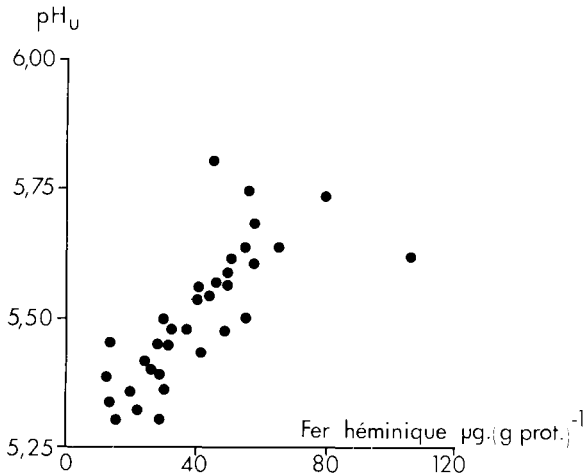


FIG. 7. — Relation entre le pH ultime et la teneur en fer héminique.

Discussion.

Les résultats disponibles dans la littérature au sujet des types métabolique et contractile chez le Porc sont peu nombreux. Beecher *et al.* (1965) obtiennent, pour sept muscles, le classement suivant par ordre croissant d'activité succinate déshydrogénase (SDH) : *Longissimus dorsi*, *Biceps femoris* (partie externe), *Semitendinosus* (partie claire), *Gluteus medius*, *Rectus femoris*, *Biceps femoris* (partie interne), *Serratus ventralis*, *Trapezius*, *Semitendinosus* (partie foncée) ; ce classement est comparable à celui que nous réalisons avec la mesure de l'activité CS, à ceci près que nous n'avons pas fait la distinction entre deux parties pour les *Biceps femoris* et *Semitendinosus*. Ces mêmes auteurs observent un coefficient de corrélation de 0,73 entre la teneur en myoglobine et l'activité SDH, légèrement supérieur à celui que nous obtenons entre le taux de fer héminique et l'activité CS. Jorgensen (1981) mesure, sur trente muscles du Porc, les activités aldolase et SDH, ainsi que la teneur en myoglobine. Si nous considérons les muscles communs à cette étude et à la nôtre, soit seize, les valeurs d'activités SDH les plus élevées sont trouvées par cet auteur dans le *Psoas major* et le *Gluteus*

profundus et les plus faibles dans le *Longissimus dorsi* et le *Tensor fasciae latae*. Ceci correspond bien à nos résultats relatifs à l'activité CS ; cependant la CS est plutôt forte dans le *Semitendinosus*, alors que, pour l'activité SDH, Jorgensen classe ce muscle parmi les plus faibles. Pour le métabolisme glycolytique, l'aldolase est élevée dans le *Gluteus medius*, l'*Adductor*, le *Semimembranosus* et le *Longissimus dorsi*, alors qu'elle est faible dans le *Flexor* : nous retrouvons la hiérarchie observée pour la LDH et la GAPDH. Les résultats des deux études concordent aussi pour les teneurs en pigments, myoglobine pour Jorgensen, fer héminique dans notre cas.

Chez le Porc, les muscles à forte activité ATPasique myofibrillaire possèdent souvent simultanément des activités glycolytiques élevées et de basses activités oxydatives. Inversement, les muscles à faible activité ATPasique sont aussi faiblement glycolytiques mais fortement oxydatifs. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus chez le Bovin (Ansay, 1974 ; Monin, 1981). On ne retrouve pas, comme c'est le cas pour d'autres espèces telles que le Cobaye (Peter *et al.*, 1972) et le Mouton (Briand *et al.*, 1981), de muscles possédant à la fois les trois types d'activité à un niveau élevé, c'est-à-dire des muscles « rouges rapides ».

Donc, pour le Porc comme pour le Bovin, on ne peut distinguer que deux types de muscles bien caractérisés :

- des muscles que l'on peut considérer « blancs rapides glycolytiques », tels que *Longissimus dorsi*, *Gluteus medius*, *Gluteus superficialis*,
- des muscles que l'on peut considérer « rouges lents oxydatifs », tels que *Diaphragma*, *Masseter*, *Trapezius*, *Supraspinatus*, *Infraspinatus*.

Les autres muscles, tels que *Rectus femoris*, *Gastrocnemius*, sont plus ou moins intermédiaires.

Nos résultats relatifs au pH ultime des muscles que nous avons étudiés ne concordent pas systématiquement avec ceux de Goutefongea et Charpentier (1966) obtenus sur 51 échantillons de 45 muscles, malgré un accord d'ensemble : si dans les deux cas on retrouve dans le groupe des pH les plus bas le *Longissimus dorsi*, le *Pectoralis profundus* et le *Gluteus superficialis*, et dans le groupe des pH les plus hauts le *Serratus ventralis thoracis* et le *Subscapularis*, par exemple, pour d'autres muscles nos classements diffèrent ; c'est le cas pour, entre autres, le *Gluteus medius* et l'*Obliquus internus*. Nous nous accordons bien aux observations de Barton-Gade (1979), qui classe dans l'ordre de pH croissant *Semimembranosus*, *Longissimus dorsi*, *Biceps femoris*, *Triceps brachii*, *Serratus ventralis thoracis* ; notre classement est identique, à l'inversion près des deux premiers, dont le pH est très proche. Ces discordances entre ces divers auteurs et nous peuvent être attribuées à des différences dans l'échantillonnage, mais certainement plus encore dans les conditions d'abattage. Nos collègues ont en effet travaillé sur des carcasses présentant des pH relativement élevés (respectivement 6,01 à 6,15 pour Barton-Gade, 6,01 pour Goutefongea et Charpentier, et 5,60 pour nous dans le *Serratus ventralis thoracis*). Nos Porcs étaient abattus dans des conditions de stress minimal, ce qui n'était probablement pas le cas dans les deux autres études. Or l'on sait qu'il y a interaction entre les effets du stress avant abattage et du type métabolique musculaire sur le pH ultime de la viande (Monin, 1981).

Conclusion.

La conclusion la plus intéressante à tirer de notre étude concerne l'existence d'une relation négative relativement linéaire entre activités glycolytiques et ATPasique myofibrillaire d'une part, et activités oxydatives mitochondriales d'autre part, c'est-à-dire un antagonisme entre type contractile rapide et type métabolique rouge ; un tel antagonisme n'est pas observé dans d'autres espèces, dont le Mouton et le Cobaye. Ceci illustre la difficulté d'extrapoler les relations observées entre équipement métabolique et contractile d'une espèce à l'autre.

Il est important également de remarquer que le muscle *Longissimus dorsi* n'est absolument pas un muscle « moyen », représentatif de la musculature du Porc, mais au contraire un des muscles les plus « blancs » et les plus « rapides » parmi tous ceux que nous avons étudiés. Or, la plupart des travaux concernant les caractéristiques tant métaboliques que qualitatives de la musculature du Porc, rapportés dans la littérature, ont été effectués sur ce muscle. Il apparaît donc souhaitable, chaque fois que possible, d'étendre les observations à des muscles de types métabolique et contractile différents.

Reçu en novembre 1984.
 Accepté en mars 1985.

Références

- ANSAY M., 1974. Individualité musculaire chez le Bovin : étude de l'équipement enzymatique de quelques muscles. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **14**, 471-486.
- BARTON-GADE P., 1979. Some experience in measuring the meat quality of pig carcasses. In *Muscle function and meat quality, Acta agric. scand.*, **21**, 61-70.
- BEECHER G. R., CASSENS R. G., HOEKSTRA W. G., BRISKEY E. J., 1965. Red and white fibers content and associated post mortem properties of seven porcine muscles. *J. Food Sci.*, **30**, 969-976.
- BERGMEYER H. U., 1974. *Methods of enzymatic analysis*, Acad. Press, New York, 466-467.
- BRIAND M., TALMANT A., BRIAND Y., MONIN G., DURAND R., 1981. Metabolic types of muscle in the sheep. I. Myosin ATPase, glycolytic and mitochondrial enzyme activities. *Eur. J. appl. Physiol.*, **46**, 347-358.
- GOUTEFONGEA R., CHARPENTIER J., 1966. Etude de la répartition topographique de la myopathie exsudative et dépigmentaire du Porc. *Ann. Zootech.*, **15**, 279-290.
- HORNSEY H. C., 1956. The colour of cooked cured pork. 1. Estimation of the nitrite-oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.*, **7**, 534-540.
- JORGENSEN P. F., 1981. *Muscle function in swine — an enzymatic, biochemical, genetic study on muscle development, muscle composition and stress-susceptibility. Th. Doct., Copenhagen.*
- MONIN G., 1981. Muscle metabolic type and the DFD condition. In *The problem of dark-cutting in beef. Curr. Topics vet. Med. anim. Sci.*, **10**, 63-79.
- MONIN G., TOURAILLE C., 1983. Types métaboliques et contractiles musculaires : relations avec les qualités technologiques des viandes. *Viandes et Produits carnés, Numéro spécial*, 42-46.
- PETER J. B., BARNARD R. J., EDGERTON U. R., GILLESPIE C. A., STEMPEL K. E., 1972. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscles in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, **11**, 2627-2633.
- SRERE P. A., 1969. Citrate-synthase. In *Methods in enzymology*, **13**, 3-5, Acad. Press, New York.