

IX<sup>th</sup> CONFERENCE OF THE EUROPEAN MEAT RESEARCH WORKERS

BUDAPEST. Sept. 4. - Sept. 11. 1963

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES CARACTERISTIQUES  
BIOCHIMIQUES DU MUSCLE DE PORC NORMAL ET EXSUDATIF

---

par :

J. CHARPENTIER et R. GOUTEFONGEA  
Laboratoire de Recherches sur la Viande  
C.N.R.Z. - Jouy-en-Josas - FRANCE.

---

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES CARACTERISTIQUES  
BIOCHIMIQUES DU MUSCLE DE PORC NORMAL ET EXSUDATIF.

---

par : J..CHARPENTIER et R. GOUTEFONGEA  
Laboratoire de Recherches  
sur la Viande  
C.N.R.Z. - Jouy-en-Josas -  
FRANCE.

L'affection connue sous le nom de "Muscular degeneration" (M.D.) dans les pays Anglo-saxons et Scandinaves et de "Myopathie exsudative et dépigmentaire" du porc dans notre pays (6) désigne un ensemble de perturbations biochimiques et physicochimiques propres, semble-t-il, à l'espèce porcine.

Dans l'état actuel de nos connaissances, ce syndrome ne se traduit par aucune manifestation clinique, mais essentiellement par la modification de quelques caractéristiques physicochimiques du muscle post mortem, en particulier une faible valeur du pH 24 heures après la mort, une chute du pH post mortem plus rapide (5), une diminution de la teneur en pigment et du pouvoir de rétention d'eau. Les myopathies métaboliques que l'on rencontre chez d'autres espèces sont caractérisées, d'une part, par diverses manifestations cliniques et, d'autre part, par des modifications de certains constituants protéiques du tissu musculaire (11).

Le comportement électrophorétique des protéines musculaires et de certaines enzymes est, en particulier, notablement différent chez le sujet "normal" et chez le myopathe (7) (9) (12) (16).

Aussi afin d'apporter une contribution à l'étiologie de cette affection, avons-nous envisagé de comparer les caractéristiques électrophorétiques d'extraits musculaires provenant de sujets normaux et de porcs présentant les déviations physicochimiques caractéristiques de la myopathie exsudative et dépigmentaire.

En outre, comme le meilleur critère biochimique caractéristique de l'état "myopathique" semble être, du moins dans l'état actuel de nos connaissances, la vitesse de chute du pH du muscle post mortem, il nous a semblé intéressant de considérer quelques facteurs susceptibles d'intervenir dans la rapidité de l'évolution du pH post mortem.

.../



342

MATERIEL ET METHODES

Deux expérimentations ont été réalisées successivement :

- La première, qui a porté sur 30 animaux, avait trait à l'étude du comportement électrophorétique des protéines sarcoplasmiques (expérience A),
- La seconde, qui a porté sur 50 animaux, concernait l'étude de quelques facteurs pouvant influencer sur la valeur de chute du pH post-mortem (expérience B,

Le poids des animaux, lors de l'abattage, était compris entre 95 et 105 kg.

EXPERIENCE A.

Un échantillon du muscle Gracilis était prélevé 15 minutes après l'abattage qui était effectué selon les modalités suivantes : électrocution, saignée, échaudage. Ce muscle a été choisi en raison de la facilité de son prélèvement. Après un ressuyage de 1 heure à la température ambiante, soit environ 15 degrés, les demi-carcasses étaient conservées dans un local conditionné dans lequel était maintenue une température de + 15° C.

Le pH de ce muscle fut alors enregistré pendant 24 heures à l'aide d'un pH mètre E.I.L. 23 AF et d'un potentiomètre enregistreur P.E.F.

Le pigment musculaire total (myoglobine et hémoglobine résiduelle) était déterminé par la méthode à l'hématine acide d'HORNSEY (10).

La mesure du pouvoir de rétention d'eau était effectuée par pression à l'aide d'un appareil spécial (GOUTEFONGEA, 1960) (8), 24 heures après l'abattage. A l'issue de cette mesure, on exprimait le pouvoir de rétention d'eau par le pourcentage d'eau défini par :

$$\% \text{ eau libre} = \frac{\text{Poids initial de l'échantillon pressé} - \text{poids final}}{\text{poids initial}} \times 100$$

Afin d'étudier l'influence éventuelle du développement de la rigor mortis sur le comportement électrophorétique des protéines sarcoplasmiques, les extraits des muscles considérés étaient soumis à l'électrophorèse 30 mn après l'abattage et 24 h. après. L'extraction était réalisée par broyage des échantillons en présence de 2 volumes de tampon tris à pH 7,65 suivi d'une centrifugation à 6000 t/mn pendant 20 mn.

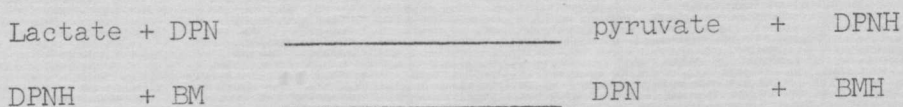
La méthode utilisée était celle de l'électrophorèse en gel d'amidon selon la technique discontinue de POULIK (15) à pH 8,5 pendant 5 h. 30 dans un champ électrique de 6 volts/cm. Les constituants protéiques de l'extrait analysé sont colorés par l'amidoschwartz. La myoglobine est mise en évidence par sa réaction peroxydasique donnant une coloration brune avec la benzidine. Les électrophorégrammes étaient photographiés dès leur sortie des bains de coloration.

.../

EXPERIENCE B.

Un échantillon du muscle Gracilis était prélevé 10 minutes après l'abattage. L'activité de la lacticodéshydrogénase était déterminée aussitôt au moyen de la méthode de BHAGVAT et DEVI (4) que nous avons adaptée au tissu musculaire.

Elle consiste à mesurer le temps de décoloration d'une solution de bleu de méthylène en présence d'une quantité déterminée de lactate et d'extrait tissulaire. Ces diverses réactions peuvent être schématisées ainsi :



Les modalités techniques sont les suivantes :

10 grammes de tissu musculaire sont broyés et homogénéisés en présence de 150 ml de tampon phosphate pH 7,4 à l'aide d'un broyeur SERVALL dont le pot est maintenu immergé dans de l'eau glacée. On verse un ml de la suspension ainsi obtenue dans un tube à essais. On ajoute successivement 0,4 ml de KCN M/15, 0,2 ml de bleu de méthylène, 0,1 %, 0,1 ml de lactate de sodium M, 0,3 ml d'eau et 1 ml de tampon phosphate pH 7,4. Après avoir agité le tube, on y verse immédiatement de la vaseline, afin de maintenir des conditions strictement anaérobies dans le milieu où doit se produire la réaction d'oxydoréduction. Ces tubes sont plongés dans un bain à 37°C jusqu'à décoloration complète. Un dosage d'azote est effectué sur une partie aliquote de l'homogénat, selon la méthode de KJEIDAHL.

L'activité de l'enzyme est exprimée par le nombre de millimoles d'acide lactique réduit par minute et par mg d'azote contenu dans l'extrait musculaire.

Un nouvel échantillon du muscle Gracilis est prélevé 40 minutes après l'abattage et conservé pendant 24 heures dans un réfrigérateur où règne une température de + 4°C.

Le pH musculaire est déterminé à l'aide d'un pH mètre E.I.L. 23 AF pourvu d'une électrode de pénétration, 45 minutes et 24 heures après l'abattage. La prise du pH 45 minutes post mortem permet en effet de caractériser nettement l'évolution du pH musculaire (5).

Le pigment total (myoglobine et hémoglobine résiduelle) est dosé par la méthode à l'hématine acide d'HORNSEY (10). Le pouvoir tampon est déterminé par la méthode de LAWRIE (13).

L'électrophorèse en gel d'amidon de la lacticodéshydrogénase fut conduite selon la méthode de ALLEN (1).

.../



344

RESULTATS - DISCUSSION

I. - COMPORTEMENT ELECTROPHORETIQUE DES PROTEINES SARCOPLASMIQUES.

Les différentes courbes d'évolution du pH permettent de classer les animaux en 3 catégories (fig. n° 1) à savoir ceux pour lesquels :

- 1. - La chute du pH est lente. Le pH atteint une valeur constante (comprise entre 5,50 et 6,00) après 12 heures environ.
- 2. - La chute du pH est rapide pendant les trois premières heures. Le pH se stabilise ensuite à une valeur comprise entre 5,50 et 5,70.
- 3. - La chute de pH est très rapide. Au bout d'une demi-heure le pH est inférieur à 5,50, puis il remonte plus ou moins rapidement pour se stabiliser aux environs de 5,40 à 5,50.

En tenant compte de l'ensemble des critères étudiés (vitesse de chute du pH, pH ultime, teneur en pigment et pourcentage d'eau libre), il est possible de distinguer des animaux nettement "myopathiques" et des animaux que l'on peut considérer comme normaux (tableau 1).

Tableau 1.

Caractères physico-chimiques du muscle Gracilis de Porcs "normaux" et "myopathiques".

Porc n°	Vitesse de chute du pH	pH 24 heures	Pigment total (en mg/g / de tissu frais)	Eau libre en % du tissu frais
17	Type "1"	5,50	1,23	13,93
29		5,91	1,00	11,64
30		6,00	0,97	12,11
1	Type "3"	5,29	0,62	35,29
13		5,50	0,70	34,05
21		5,55	0,65	31,10

Les électrophorégrammes des extraits de ces muscles ne présentent pas de différences apparentes. Les électrophorégrammes obtenus à partir d'échantillons musculaires prélevés aussitôt après l'abattage ou 24 heures après sont en outre identiques.

.../

Les bandes correspondantes des différents muscles ont une vitesse de migration semblable.

La coloration à l'amidoschwartz montre 15 bandes (fig. n° 2) dont 3 cathodiques et 12 anodiques.

La coloration paroxydasique à la benzidine montre 6 bandes (fig. n° 2) dont une cathodique et cinq anodiques. Les deux bandes anodiques les plus rapides sont très faibles et parfois difficiles à mettre en évidence. Les deux bandes moyennes sont plus larges et plus intenses. Quant à la bande anodique la plus lente, elle est très faible et souvent à peine visible.

La figure n° 2 montre, sous forme de schéma, les positions respectives des différentes bandes obtenues par les deux modes de coloration.

Les bandes colorées à la benzidine présentent dans tous les cas des vitesses de migration semblables, mais leur nombre n'est pas constant.

En effet, les bandes A, C, D sont toujours visibles, mais la bande B, d'une part, et les bandes E et F, d'autre part, ne sont souvent que peu perceptibles. Ces bandes sont d'autant plus difficiles à déceler que la teneur en myoglobine des muscles est plus faible. La concentration d'extraits aqueux par lyophilisation nous a toutefois permis de mettre en évidence l'existence de ces bandes dans les muscles faiblement pigmentés.

- La confrontation des électrophorogrammes obtenus par coloration à l'amidoschwartz, d'une part, et à la benzidine, d'autre part, semble montrer l'analogie des bandes 2' et A, 7 et 8, 8 et C, 9 et D, 11 et 4, 12 et F (fig. n° 2).

- La bande 9 - D correspond à la chromoprotéine la plus importante dans le tissu musculaire, c'est-à-dire à la myoglobine. Il est probable que les bandes 11 - E et 12 - F correspondent également à la myoglobine. En effet, BERNARD et coll. (3) ont mis en évidence pour la myoglobine de porc l'existence d'une bande anodique intense et de deux bandes de très faible intensité et de vitesse de migration supérieure.

- L'électrophorèse comparative d'extrait musculaire et d'hémoglobine nous a montré que la bande 8 - C représentait l'hémoglobine résiduelle du tissu musculaire.

La nature de la Bande 7 - B ne peut être précisée. La bande 2' - A semble, par contre, correspondre au cytochrome C. L'électrophorèse d'une solution pure de cytochrome C nous a montré, en effet, que cette chromoprotéine présentait une migration cathodique de même vitesse.

- La bande 10 semble correspondre à la myoalbumine. Sa vitesse de migration est identique à celle de l'albumine plasmatique.

- L'état actuel de nos connaissances ne permet pas d'identifier les autres bandes.



Cette étude montre donc que le nombre et la position des bandes sont semblables chez les individus normaux et myopathiques. Néanmoins, la difficulté de révélation de certaines bandes chez le myopathe autorise à penser qu'il existe très vraisemblablement des différences dans l'importance quantitative des diverses protéines sarcoplasmiques.

## II. - POUVOIR TAMPON ET ACTIVITE DE LA DESHYDROGENASE LACTIQUE.

La rapidité de chute du pH qui caractérise les muscles du type "3" peut, à priori, être due :

- soit à la déficience du pouvoir tampon du muscle,
- soit à la rapidité et l'intensité de la production d'acide lactique,
- soit à l'ensemble de ces deux causes.

Selon BENDALL et al. (2), le muscle normal et le muscle exsudatif ne semblent pas présenter de différences de pouvoir tampon. La vitesse de chute du pH serait alors conditionnée par l'activité des diverses enzymes intervenant dans les multiples réactions de la glycolyse anaérobie. Dans un premier temps, nous avons envisagé de considérer uniquement la réaction terminale de cette chaîne, c'est-à-dire la transformation réversible de l'acide lactique en acide pyruvique. L'enzyme intervenant dans cette réaction est la lacticodéshydrogénase. Toute modification de l'activité de cette enzyme peut, soit freiner, soit accélérer, la synthèse de l'acide lactique musculaire. Une diminution d'activité de cet enzyme, concomitante ou non à une faible valeur du pouvoir tampon, pourrait donc expliquer, du moins partiellement, la chute rapide du pH musculaire post mortem dans le cas du muscle exsudatif.

En effet, l'étude de l'activité de la lacticodéshydrogénase en fonction du pH nous a montré (fig. n° 3) que celle-ci commençait à diminuer faiblement dès pH 7,2, puis très fortement pour des pH inférieurs à 6,0. Une faible valeur du pouvoir tampon pourrait donc favoriser l'inhibition de la lactico déshydrogénase et, par là même, la synthèse d'acide lactique.

Aussi nous a-t-il semblé judicieux d'essayer de préciser la part relative de ces deux facteurs dans le déterminisme de la vitesse de la glycolyse musculaire post mortem.

.../

347

Le tableau n° 2 indique les coefficients de corrélation obtenus entre les diverses caractéristiques considérées.

Tableau 2.

		Coefficient de corrélation
Pouvoir tampon	- pH 45 minutes	- 0,05
Pouvoir tampon	- pH 24 heures	+ 0,05
Pouvoir tampon	- pigment	- 0,208
Activité lacticodéshydrogénase	- pH 45 minutes	+ 0,48 *
Activité lacticodéshydrogénase	- pigment	+ 0,52 *
Pigment	- pH 45 minutes	+ 0,40 *
Pigment	- pH 24 heures	+ 0,48 *

\* significatif au seuil de 1 %

Pouvoir tampon du muscle et pH post mortem.

L'absence de liaison entre le pouvoir tampon du muscle et le pH 45 minutes ( $r = - 0,05$ ) montre qu'une insuffisance du pouvoir tampon ne peut être invoquée pour expliquer la rapidité de chute du pH musculaire post mortem, ce qui confirme les résultats obtenus par BENDALL et al. (2).

Il n'existe également aucune liaison entre la valeur du pouvoir tampon et celle du pH 24 heures ( $r = + 0,05$ ).

Pouvoir tampon du muscle et teneur en pigment.

La corrélation non significative ( $r = - 0,28$ ) obtenue entre le pouvoir tampon du muscle et sa teneur en pigment semble montrer l'absence de relation entre ces deux caractéristiques.

Le fait que le pouvoir tampon ne soit pas lié aux caractéristiques biochimiques précédentes s'explique d'ailleurs par sa très faible variabilité.

La moyenne des valeurs obtenues dans notre étude est en effet de :

$$5,73 \pm 0,50$$

ce qui donne un coefficient de variabilité de 8,7 %

.../



348

Activité de la lacticodéshydrogénase et pH 45 minutes.

La liaison entre ces deux caractéristiques (r = + 0,48) indique qu'une diminution d'activité de la lacticodéshydrogénase peut être responsable de l'augmentation de la vitesse de chute du pH. La réduction d'activité de la lacticodéshydrogénase accélérerait en effet la production d'acide lactique et, par là même, la vitesse de chute du pH.

Activité de la lacticodéshydrogénase et teneur en pigment.

La liaison observée entre ces caractères (r = + 0,52) confirme celle obtenue par BRISKEY et WISMER-PEDERSEN (5) entre l'activité de cette même enzyme et le pourcentage de rémission d'une coupe musculaire.

Teneur en pigment et pH :

La corrélation obtenue entre la teneur en pigment et le "pH 45 minutes" (r = + 0,40) montre l'existence d'une liaison entre la vitesse de chute du pH et la coloration musculaire, ce qui confirme d'ailleurs la liaison précédente entre la teneur en pigment et l'activité de la lacticodéshydrogénase.

Quant à la corrélation entre la teneur en pigment et le pH 24 heures (r = + 0,48), elle confirme nos résultats antérieurs (14).

Nous devons noter que l'intensité des liaisons observées dans notre étude eut été vraisemblablement plus forte avec un choix plus judicieux des échantillons musculaires. Le fait de n'avoir considéré qu'un seul muscle, le Gracilis, entraîne une variabilité moindre des différents caractères étudiés. Il eut, en effet, été préférable de choisir des muscles présentant des différences d'apparence "myopathique" plus accusées.

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent donc que la rapidité de chute du pH ne peut être expliquée par une modification du pouvoir tampon du muscle. Par contre, elle semble pouvoir l'être, du moins partiellement, par une perturbation du système enzymatique intervenant dans la glycolyse et, en particulier, par une modification d'activité de la lacticodéshydrogénase.

- CARACTERISTIQUES CINÉTIQUES ET ELECTROPHORETIQUES DE LA

LACTICODESHYDROGENASE.

La vitesse d'une réaction enzymatique est fonction de la concentration du substrat. En effet, si V désigne la vitesse de la réaction et S la concentration en substrat, d'après la relation de Lineweaver et Burk :

$$\frac{1}{V} = \frac{K_m}{V_m} \times \frac{1}{S} + \frac{1}{V_m}$$

où Km et Vm désignent respectivement la constante de Michaelis et la vitesse maximum de la réaction.

.../

349

La figure n° 4 montre pour quelques muscles présentant des vitesses de chute de pH très différentes, les représentations graphiques correspondantes de  $\frac{1}{V}$  en fonction de  $\frac{1}{S}$ .

Ces résultats montrent que, quelle que soit la concentration en acide lactique, la vitesse de réduction de l'acide lactique est beaucoup plus faible pour les muscles à chute de pH rapide. Cette diminution d'activité de la lacticodéshydrogénase peut être due à une modification de la structure de cette enzyme.

Cette hypothèse semble d'ailleurs confirmée par la non similitude des électrophorogrammes de la lacticodéshydrogénase dans ces mêmes muscles.

L'électrophorèse en gel d'amidon selon la méthode de Allen permet de mettre en évidence par révélation au nitrobleutétrazoline, 5 bandes dont 4 anodiques et une bande cathodique très dense (fig. n° 7). Toutes ces bandes présentent des vitesses de migration semblables, mais leurs intensités respectives diffèrent dans le cas de muscles à vitesse de chute de pH lente et rapide (fig. n° 5).

Cette différence dans l'importance quantitative des izoenzymes se rencontre dans de nombreuses affections pour lesquelles elle constitue d'ailleurs un mode de diagnostic très utilisé.

Il semble donc qu'un des éléments du tableau clinique de la myopathie exsudative et dépigmentaire soit une perturbation du système enzymatique intervenant dans la glycolyse musculaire.

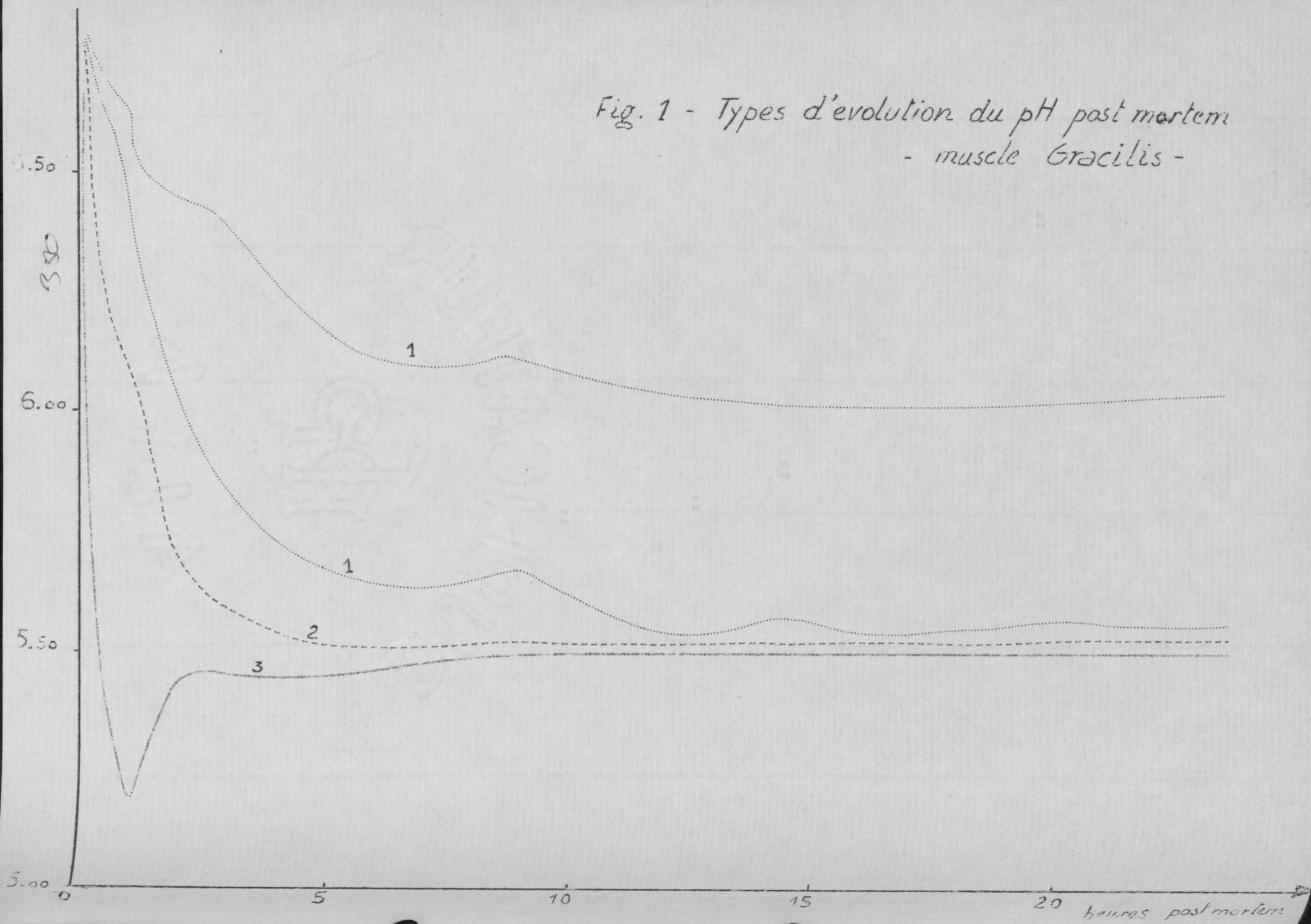
## CONCLUSIONS.

1. - L'électrophorèse en gel d'amidon des protéines sarcoplasmiques du porc atteint de "myopathie exsudative et dépigmentaire" ne fournit pas un électrophorégramme caractéristique, à l'inverse de ce qui se produit pour les myopathies "pathologiques" qui frappent les autres espèces. Le nombre et la vitesse de migration des différentes bandes ne sont pas modifiés. De légères différences dans l'importance quantitative des diverses protéines sarcoplasmiques semblent toutefois exister entre le porc "normal" et le porc "myopathique".

2. - La vitesse de chute du pH post mortem est beaucoup plus rapide dans le cas de muscles "myopathiques". Ce phénomène ne semble pas pouvoir être expliqué par une modification du pouvoir tampon du muscle, mais bien plus par une perturbation du système enzymatique intervenant dans la glycolyse musculaire. L'activité de la lacticodéshydrogénase est, en particulier, ralentie, ce qui peut partiellement expliquer la rapidité de la synthèse de l'acide lactique. Cette diminution d'activité de la lacticodéshydrogénase semble être liée à une altération structurale. L'électrophorèse en gel d'amidon de cette enzyme montre en effet une nette modification de l'importance relative de ses constituants.



Fig. 1 - Types d'évolution du pH post mortem  
- muscle Gracilis -



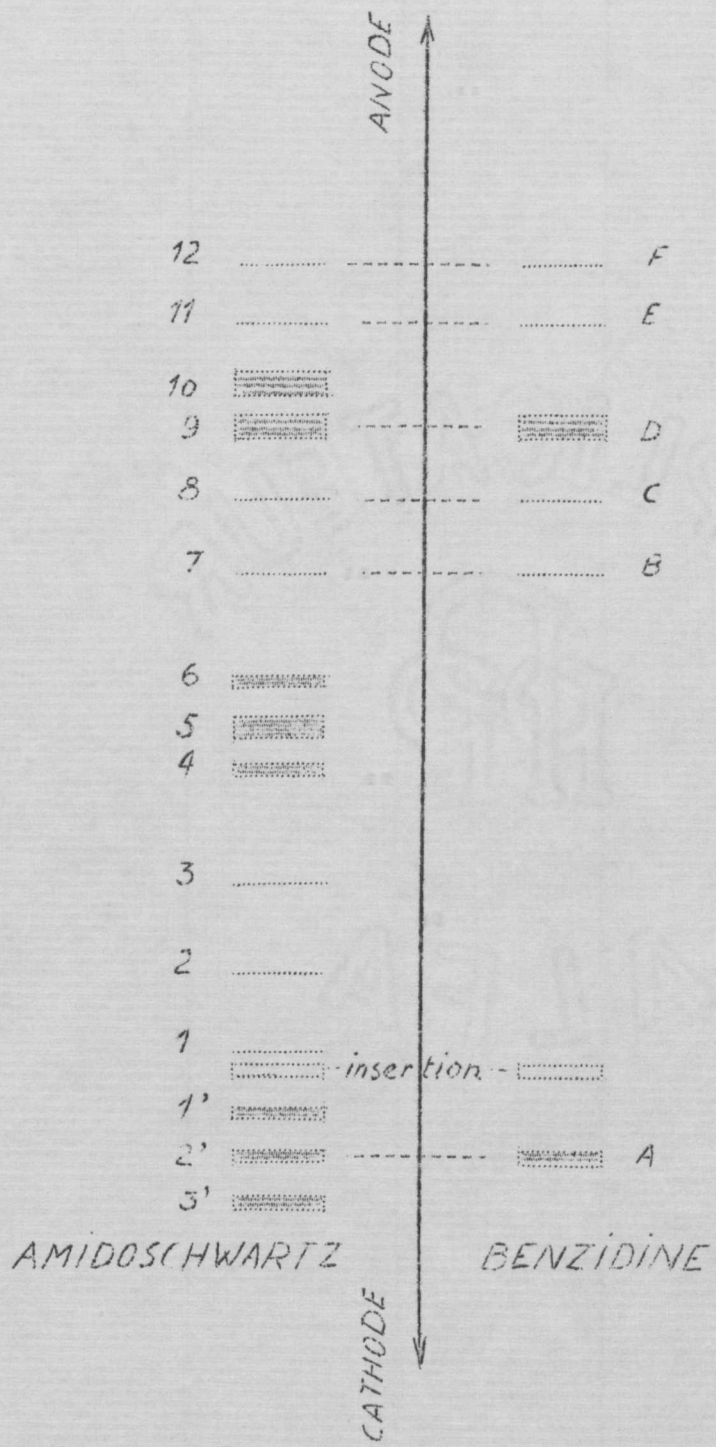


Fig. 2 - Position des différentes bandes obtenues par coloration à l'amidoschwartz et à la benzidine.



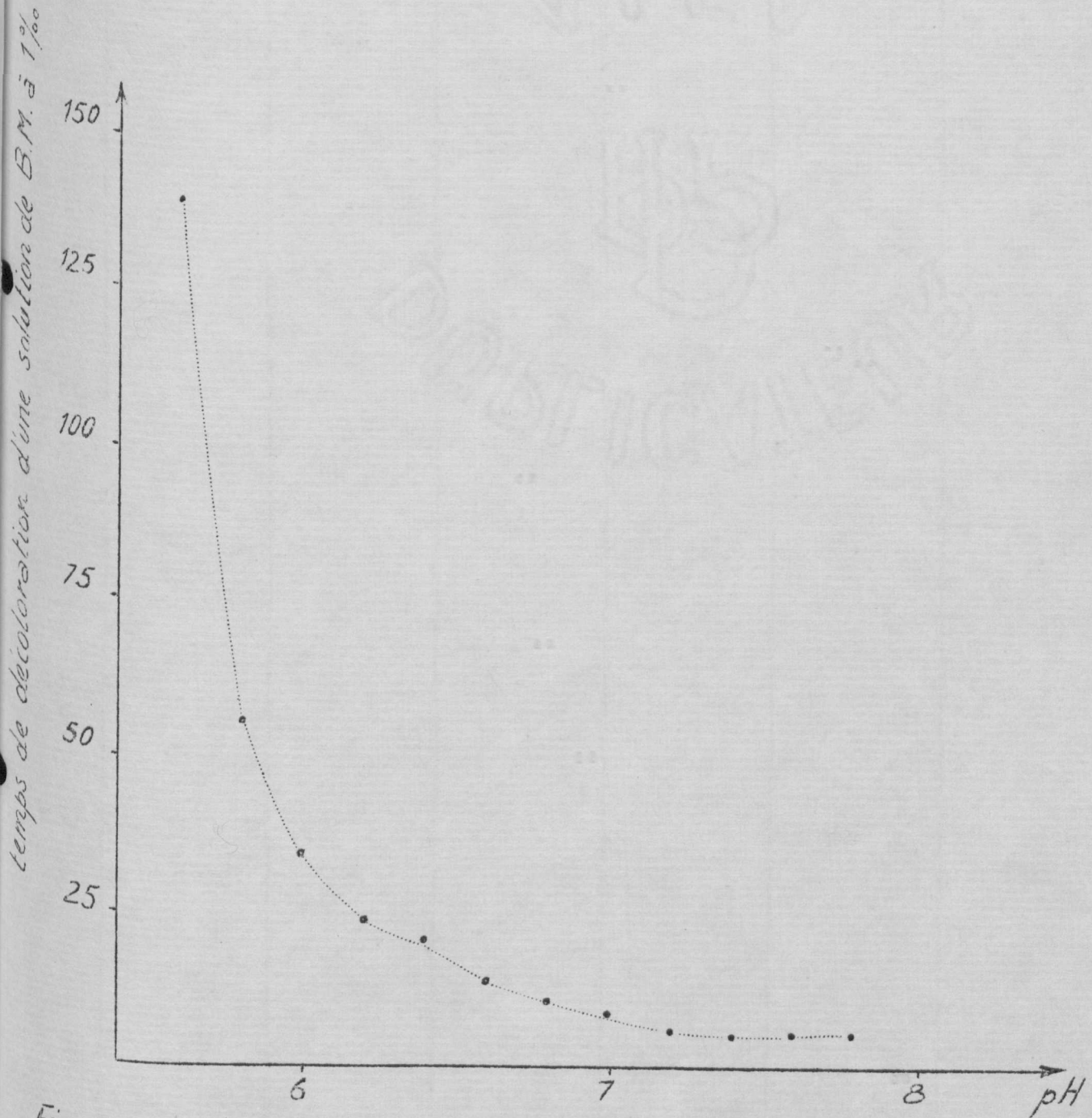


Fig. 3 - Activité de la lactico déshydrogénase en fonction du pH.

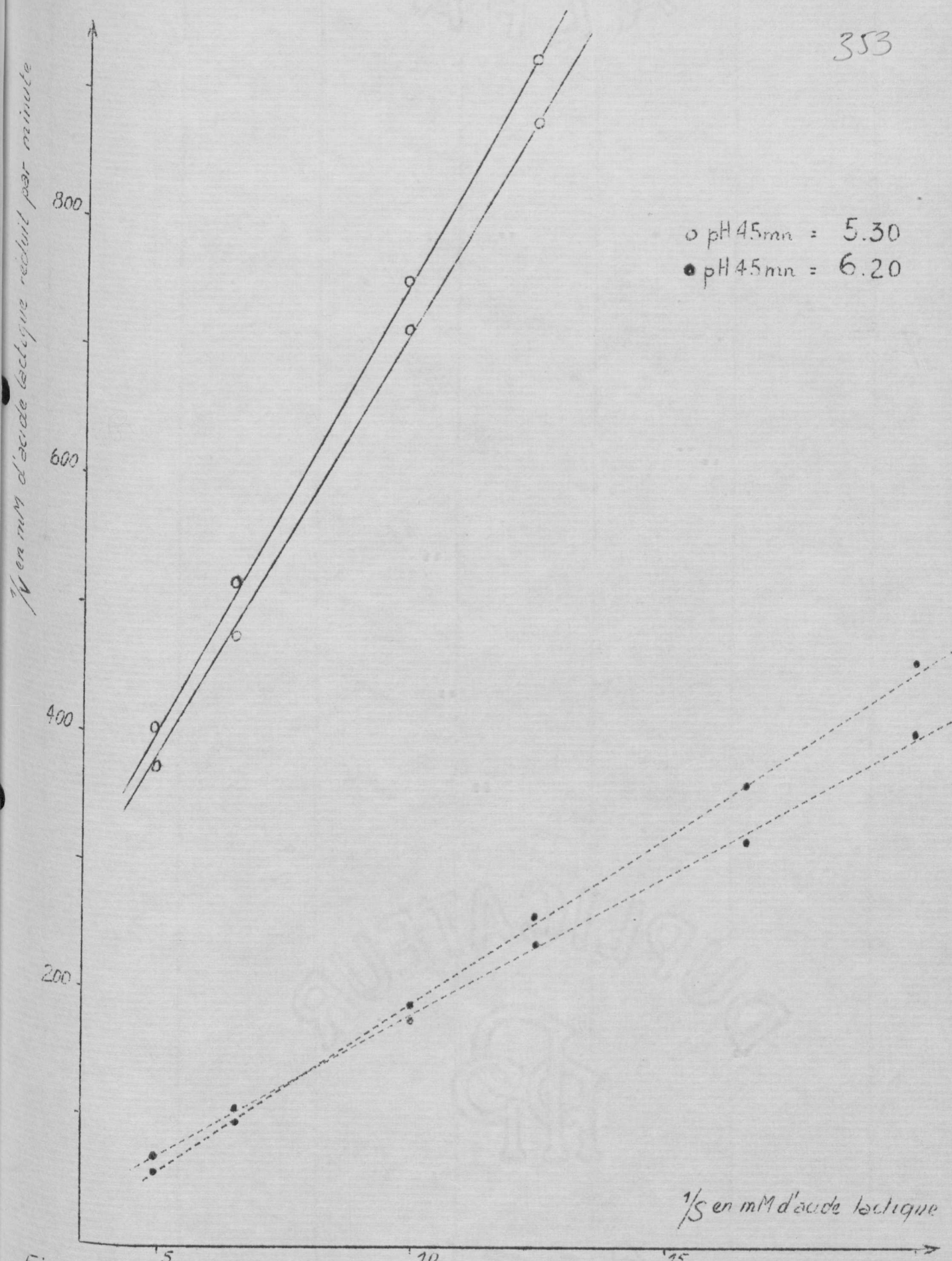


Fig 4 - Vitesse de réduction de l'acide lactique en fonction de la concentration en acide lactique.



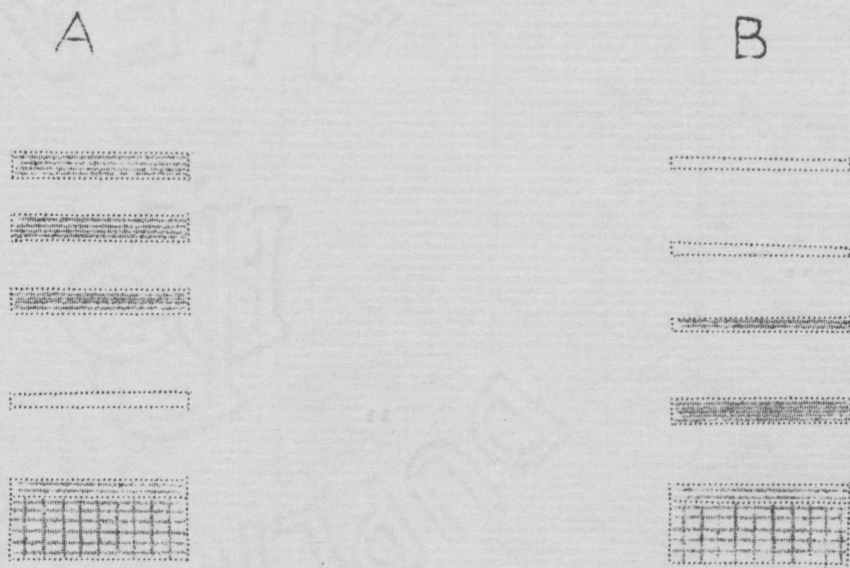


Fig. 5 - Electrophoregramme de lactico deshydrogenase de muscle presentant une vitesse de chute du pH post mortem : - lente (A). - rapide (B)

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ALLEN J. M. - 1961 -  
Multiple forms of lactic deshydrogénase in tissues of the mouse, their specificity, cellular localisation, and response to altered physiological conditions.  
Ann. New-York Acad. Sci. 94, 937-951.
- 2 - BENDALL J.R. - 1962 -  
HALLUND O.  
WISMER-PEDERSEN J.  
A study of the post mortem pH changes in the muscles of Danish Landrace pigs in relation to the occurrence of watery pork.  
Eight Meeting of Meat Research Institutes. Moscou.
- 3 - BERNARD S. - 1961 -  
HAVEZ R.  
DAUTREVAUX M.  
BISERTE G.  
Etude sur la Myoglobine. III - Propriétés comparées des myoglobines de Cheval, de Boeuf, de Mouton et de Porc.  
Bull. Soc. Chim. Biol. 43 (12), 1281-1287.
- 4 - BHAGVAT KAMALA - 1949 -  
DEVI P.  
Interrelationships of certain vitamins of the B group in aneurin, riboflavin and biotin deficiencies.  
Biochem. Journal, 45, 32-38.
- 5 - BRISKEY E.J. - 1961 -  
WISMER-PEDERSEN J.  
Biochemistry of Pork muscle structure. I - Rate of anaérobic glycolysis and temperature change versus the apparent structure of muscle tissue.  
J. Food Sci. 26 (3), 297-305.
- 6 - COSSARD J. - 1957 -  
La myopathie exsudative et dépigmentaire du Porc.  
Thèse Doctorat Vétérinaire. Paris.
- 7 - DREYFUS S.C. - 1962 -  
DEMOS J.  
SCHAPIRA F.  
SCHAPIRA G.  
La lacticodéshydrogénase chez le myopathe : persistance apparente de type foetal.  
C. R. Acad. Sci. 254 (25), 4384-4386.
- 8 - GOUTEFONGEA R. - 1960 -  
Description d'un nouvel appareil pour mesurer le pouvoir de rétention d'eau de la viande.  
Sixth Meeting of Meat Research Institutes. Utrecht.



- 9 - HAAN A.M.F.M. - 1953 -  
Electrophoresis of the non structural proteins from normal and atrophic muscles of the rabbit and of man.  
Biochim. Biophys. Acta. 11, 258-269.
- 10 - HORNSEY H.C. - 1956 -  
The colour of cooked cured Pork. I - Estimation of the nitric oxide-haem pigments.  
J. Sci. Food Agric. 7, 534-540.
- 11 - HUGUES B.P. - 1960 -  
Effects of degeneration on the albumin components of human muscle extracts.  
Nature. 188, 1020-1029.
- 12 - KEELER R.F. - 1961 -  
YOUNG S.  
An electrophoretic analysis of protein extracts from normal and dystrophic ovine muscle.  
Biochem. J. 81, 93-98
- 13 - LAWRIE R.A. - 1953 -  
The onset of rigor mortis in various muscles of the draught horse.  
J. Physiol. 121, 275-288.
- 14 - MESLE L. - 1960 -  
CHARPENTIER J.  
GOUTEFONGEA R.  
DUMONT B.L.  
Note sur la variation des caractéristiques physicochimiques de la musculature du membre postérieur du Porc.  
Sixth Meeting of Meat Research Institutes. Utrecht.
- 15 - POULIK M.D. - 1957 -  
Starch gel electrophoresis in a discontinuous system of buffers.  
Nature. 180, 1477-1479.
- 16 - SCHAPIRA G. - 1958 -  
DREYFUS J.C.  
Electrophorèse des protéines musculaires solubles en milieu de faible force ionique. Souris normales et myopathes.  
C.R. Soc. Biol., 152, 1705-1707.