

Hors série

VIANDES & PRODUITS CARNÉS

REVUE DES INSTITUTS DE RECHERCHES ET DES CENTRES TECHNIQUES DES FILIÈRES VIANDES ET PRODUITS CARNÉS

10^{èmes} Journées

**« Sciences du Muscle et
Technologies des Viandes »**

ISMTV

**25 et 26 Octobre 2004
RENNES**



Les Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande regroupent périodiquement les chercheurs et les acteurs des différentes filières de production et de transformation des viandes et produits carnés.

La première édition a eu lieu à Paris en 1977.

Les suivantes eurent lieu aussi à Paris (1983, 1985, 1988, 1990).

La 6^{ème} édition eu lieu à Clermont-Ferrand

La 7^{ème} à Rodez

La 8^{ème} à Paris

La 9^{ème} à Clermont-Ferrand.

Ces 10^{èmes} Journées sont organisées conjointement par l'INRA, l'ITP et l'Institut de l'Elevage.

La mise en place a été possible grâce aux partenariats suivants :



Institut National de la Recherche Agronomique



Institut Technique du Porc



Institut de l'Elevage



Région Bretagne



Conseil Général d'Ille et Vilaine 35



Ville de Rennes



Agro campus



Office National Interprofessionnel des Viandes de l'Elevage et de l'Aviculture



Association Interprofessionnelle du Bétail et des Viandes



Association Bleu Blanc Cœur



Agence Universitaire de la Francophonie

10^{èmes} Journées
« Sciences du Muscle et
Technologies des Viandes »

25 et 26 Octobre 2004
Rennes

Comité d'organisation local

MOUROT J.	INRA UMRVP Saint Gilles
CHEVALIER J.	INRA UMRVP Saint Gilles
BENOIT A.	Institut de l'Elevage
ROUSSEL E.	INRA UMRVP Saint Gilles
GUEGUEN N.	INRA UMRVP Saint Gilles

Comité scientifique

MOUROT J.	INRA Saint Gilles
FOSTIER B.	ITP Le Rheu
LUCBERT J.	Institut de l'Elevage

Animateurs de session

DUCLOS M.	INRA Nouzilly
LEPETIT J.	INRA Theix
LEFEVRE F.	INRA Rennes
ROBIN J.	Ifremer Brest
MAINSANT P.	INRA Ivry
FOSTIER B.	ITP Le Rheu
VENDEUVRE JL.	CTSCCV
POMA JP.	CTCPA
FRAVALO P.	AFSSA Ploufragan
FRENCIA JP.	ADIV

Organisateurs conférence - table ronde

LE MINOUS AE.	ADRIA Quimper
BLOCHET JE.	Zoopole

Introduction

Jacques MOUROT

Unité Mixte de Recherche sur le Veau et le Porc – INRA ; 35590 SAINT-GILLES

Les dixièmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande se tiennent pour la première fois en Bretagne et sont co-organisées par l'INRA, l'ITP et l'Institut de l'Elevage.

Ces journées ont pour objectif de faire rencontrer les chercheurs dans le domaine de la viande avec les industriels de la transformation autour de résultats de travaux de recherche.

La Bretagne, terre à la fois d'un important potentiel de productions animales, mais aussi d'un très fort secteur industriel en agro-alimentaire se devait d'accueillir ces journées.

Pour cette édition, un accent particulier sera mis sur les produits d'aquaculture marine et d'eau douce avec une session consacrée entièrement à

La qualité de la chair de poisson aussi bien sous l'aspect nutritionnel, technologique que sanitaire.

Les autres sessions concerneront :

Les bases biologiques de la qualité de la viande

Les crises alimentaires, principe de précaution et économie des filières

La formulation des produits et les méthodes de mesure

La sécurité alimentaire des produits carnés.

La dernière partie du congrès sera consacrée à une conférence table ronde:

La nutrition : du laboratoire à l'entreprise

Avec la participation d'industriels et de chercheurs qui présenteront leurs démarches et un spécialiste de la nutrition humaine, JM Bourre qui introduira le débat par une conférence:

Pourquoi mangera t'on encore de la viande demain? Intérêts nutritionnels actuels et à venir des viandes.

Ce congrès est accueilli dans les locaux de l' Agro campus. Un partenariat a été mis en place entre Agro campus, la Région Bretagne et les Instituts organisateurs pour permettre aux étudiants de Agro campus et de l'Université de Rennes I inscrits au Mastère "Biologie, Productions Animales et Qualité" de participer à ces journées. Les étudiants actuels de cette filière seront les futurs acteurs du secteur de la nutrition animale et de l'agro-alimentaire, c'est donc une occasion pour eux de rencontrer des industriels et des chercheurs de ce domaine.

Avec plus de 160 inscrits, 8 conférences, 25 communications, 35 affiches scientifiques, 2 ateliers thématiques, ces Journées montrent encore une fois le dynamisme de ce secteur de recherche. Le nombre croissant de chercheurs étrangers (notamment d'Europe mais aussi d'Afrique) et d'industriels (dont certains ont proposé des communications) montre l'intérêt de continuer d'organiser de telles Journées.

SOMMAIRE

COMITES D'ORGANISATION	3
INTRODUCTION	5
SOMMAIRE	7
BASE BIOLOGIQUE DE LA QUALITE DE LA VIANDE	
SESSION 1	11
CONFERENCE	
Rôle des tissus conjonctifs dans le déterminisme de la tendreté de la viande. J. LEPETIT	15
COMMUNICATIONS ORALES	
Variabilité génétique de caractéristiques biologiques du muscle chez des taurillons Charolais. YOUSAO A.K.I., RENAND G., PICARD B., JURY C., BERGE P.	29
Etude de la variabilité de la qualité de la viande de porc par analyse en composantes principales. LEROY B., ETIENNE G., CHINA B., KORSAK N., DAUBE G., CLINQUART A.	31
Protéines Sarcoplasmiques et caractérisation protéomique des types musculaires Ovin. HAMELIN M., SAYD T., CHAMBON C., MONIN G., LAVILLE E.	33
Influence de l'exercice physique au cours de l'engraissement sur le métabolisme musculaire chez le lapin GONDRET F., EL RAMOUZ R., FERNANDEZ X., COMBES S.	35
Influence de l'activité physique chez le lapin : Caractéristique de la carcasse de la viande et du complexe tendino-osseux. COMBES S., MOUSSA M., GONDRET F., DOUTRELOUX J.P., REMIGNON H.	37
Hypertrophie et qualité technologique du filet de poulet BERRI C., DEBUT M., LE BIHAN-DUVAL E., SANTE-LHOUELLE V., HAJ HATTAB N., JEHL N., DUCLOS M.J.	39
Effet des CLA alimentaires sur les performances de croissance et la qualité de la viande de porc. DOUARD V., MOUROT J., MOUNIER A	41
POSTERS	
Caractérisation protéomique de la texture anormalement pâteuse du jambon sec. SANTE-LHOUELLE V., HORTOS M., ARNAU J., MONIN G.	45
Composition du muscle <i>Longissimus</i> en chaînes lourdes de la myosine entre les races porcines Large White et Meishan. LEFAUCHEUR L., ECOLAN P., LE CALLENNEC C.	47
Effet d'une réversion du sexe sur le développement musculaire du poulet BAEZA E. , BRILLARD J.P.	49
Effet du génotype et du gavage sur les dépôts de lipides intramusculaires dans le filet de canard CHARTRIN P., SCHIAVONE A., BERNADET M.-D., GUY G., MOUROT J., DUCLOS M.J., BAEZA E.	51
Effet d'un régime à base de glands de chêne vert sur la composition en acides gras des lipides du tissu musculaire de la cuisse de poulet de chair BOUDEROUA K. , SELSELET-ATTOU G. , MOUROT J.	53
Effet du mode d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et celles du muscle du porc local du Bénin. YOUSAO A.K.I. , MOUROT J. , EDENAKPO. , A.ROBIN G. , MOUNIER A.	55

Catécholamines et relation avec les qualités des viandes de porc : rôles du type génétique, du mode d'élevage et des conditions d'abattage. BERNE A., ASTRUC T., HAYE E., TERLOUW C.	57
Qualité nutritionnelle des lipides de viandes : écart liés à l'espèce, écarts liés à l'alimentation : Quelques observations CHESNEAU G. , QUEMENER B. , WEILL P.	59
Effet de différents teneurs en acide gras n-3 sur la qualité nutritionnelle de la viande de porc. WILFART A., FERREIRA J., ROBIN G., MOUNIER A., MOUROT J.	61
Teneur en lipides et métabolisme des adipocytes dans le muscle chez le porc en croissance. GARDAN D., LOUVEAU I., GONDRET F.	63
Etudes immunohistologiques de la trame conjonctive de muscles de bovins en relation avec la tendreté. LABAS R. , SIFRE-MAUNIER L., CHANIER L. LISTRAT A., TAYLOR R.	65
Maturation de la viande de porc : influence sur les mesures de texture. Comparaison Label rouge/Standard. VAUTIER A., BOULARD J., HOUIX Y., LE ROUX A., MINVIELLE B., BOZEC A.	67
Caractérisation de l'organisation du tissu conjonctif intramusculaire de la viande bovine par analyse d'images. SIFRE-MAUNIER L, TAYLOR RG, BERGE P, BONNY JM.	69
Effets respectifs de la nature de l'alimentation et de la mobilité sur le potentiel métabolique des muscles de bœufs charolais. JURIE C., ORTIGUES-MARTY I., MICOL D. , CASSAR-MALEK I. , DOZIAS D. , PICARD B., HOCQUETTE JF.	71
Etude de la différenciation des fibres musculaires de l'embryon de truite par hybridation <i>in situ</i> d'un large répertoire de transcrits musculaires. CHAUVIGNE F., RALLIERE C., CAUTY C., RESCAN P.Y.	73
Effet de l'âge sur la composition lipidique de la viande d'agneau allaitant italien Merino. DI CESARE C., FILETTI F., MOUROT J., MAIORANO G., SALVATORI.G., ORIANI G.	75
Comparaison des tissus adipeux sous-cutanés et intramusculaires chez les porcs Basques et Large White. L. ALFONSO, J. MOUROT., KIZKITZA INSAUSTI., J.A. MENDIZABAL	77
Comparaison des qualités de carcasse et de viande du porc Large White et Créole. RENAUDEAU D., MOUROT J.	79
Expression des isoformes rapides de chaînes lourdes de myosine dans le muscle <i>pectoralis major</i> de poulet : effet de la sélection pour la croissance et de la nutrition précoce. BERRI C., HAJ HATTAB N., GODET E., DUCLOS M.J.	81
QUALITE DE LA CHAIR DE POISSON	
SESSION 2	83
CONFERENCE	
Caractéristiques nutritionnelles des poissons et facteurs de variations. MEDALE F.	87
COMMUNICATIONS ORALES	
Evaluation de la spectroscopie de fluorescence frontale pour détecter les poissons congelés/décongelés. KAROUI R., LARDON S., LAGUET A., THOMAS E., FRENCIA J.P., DUFOUR E.	97
Taux de sel du saumon fumé et qualité gustative. FOUCAT L., DONNAT J.P, JOFFRAUD J.J., CARDINAL M., RENO J.P.	99
Effet de la nature des huiles sur la fraîcheur et les paramètres de qualité de la chair chez le flétan. GUILLERM-REGOST C., RØRÅ A.M.B., HAUGEN T., NORVEDT R.	101

Remplacement de l'huile de poisson par des huiles végétales dans l'aliment :
incidence sur les mécanismes de constitution des dépôts lipidiques chez la truite arc-en-ciel.
RICHARD N., LARROQUET L., KAUSHIK S.J., CORRAZE G. 103

POSTERS

Distribution du sel dans le saumon fumé en relation avec la distribution du gras :
Etude par imagerie RMN du ¹H et du ²³Na..
FOUCAT L., OFSTAD R., DONNAT J.P., RENO J.P. 107

Muscles de truite (*Onchorhynchus mykiss*) fumés conditionnés sous atmosphère modifiée :
Qualité et aspect microbiologique.
QUIÑONES A., CHOUBERT G., GOMEZ R. 109

Détection des chairs de poisson congelées et décongelées par spectroscopie moyen infrarouge.
GUILLARD A.S., GRONDIN C., LEFUR B., KAROUÏ R. 111

Effet d'une supplémentation de l'aliment avec de l'huile de poisson oxydée et de la vitamine E sur la
peroxydation lipidique chez des alevins de truite arc-en-ciel
FONTAGNE S., BREQUE J., BISCARRAT B., LINGRAND M., PUYO S. 113

Remplacement de l'huile de poisson par des huiles végétales chez la truite arc-en-ciel :
Incidence sur les qualités nutritionnelles et organoleptiques.
CORRAZE G., RADUNZ-NETO J., RICHARD N., CARDINAL M. KAUSHIK S. 115

Effets du jeûne et de la réalimentation sur les caractéristiques du tissu musculaire de truite arc-en-ciel.
LEFEVRE F., PABOEUF G., BUGEON J. 117

Impact du niveau d'oxygène pendant la croissance sur la structure du muscle et la texture de
la chair de truite (*Oncorhynchus mykiss*) ?
BUGEON J., AUBIN J., PABOEUF G., LEFEVRE F. 119

Caractérisation des mécanismes protéolytiques dans le muscle de Bar.
CHERET R., DELBARRE-LADRAT C., DE LAMBALLERIE-ANTON M., VERREZ-BAGNIS V. 121

CRISE ALIMENTAIRE, PRINCIPE DE PRECAUTION ET ECOMIE DES FILIERES SESSION 3 123

CONFERENCE

Le principe de précaution : avantages et limites.
DUFOUR B. 127

Conséquences de l'ESB sur l'industrie de la viande, le témoignage de la SOCOPA
MARIETTE M. 131

COMMUNICATIONS ORALES

L'équilibre carcasse dans la filière viande bovine française : stratégies et enjeux.
MALOYER-DEVEZE C., JULLIEN M., CAMARET D., LOSSOUARN J. 137

Les conséquences de l'ESB sur la hausse des prix de détail de la viande de bœuf.
MANSANT P. 139

La place de la viande bovine dans le modèle alimentaire français : bilan et perspectives.
RAUDE J., CLOUTIER J. 141

Conséquences des crises de l'ESB sur la segmentation de l'offre en viande bovine :
Exemples de stratégies de la grande distribution en Espagne et en France.
SANS P., DE FONTGUYON G., BRIZ J. 143

POSTERS

Effets de l'acquisition de l'AOC dans la restauration de la confiance des consommateurs vis-à-vis de la filière bovine : le cas de la Maine Anjou.

LEUSIE M., ALESSANDRIN A 147

FORMULATION DES PRODUITS

SESSION 4

149

CONFERENCE

Enjeux de la formulation des préparations et produits à base de viande/ contraintes et solutions.

VENDEUVRE JL. (PAS DE TEXTE)

COMMUNICATIONS ORALES

Prédiction de la teneur en gras intramusculaire du porc Piétrain par l'ultrasonographie en temps réel.

YOUSAO A.K.I., VERLEYEN V., MICHAUX C., CLINQUART A., LEROY P. L. 153

Prédiction du pH de la viande de dinde au cours du marinage dans des solutions d'acide acétique.

ABI NAKHOUL P., GOLI T., ZAKHIA-ROZIS N., BOHUON P., TRYSTRAM G. 155

POSTERS

Effets de différents antioxydants.

GUIAVARC'H E., THOMAS E., PEYRON A., RENERRE M., GATELLIER P., GLADINE C., BAUCHART D., DURAND D. 159

Diffusion de l'eau dans la viande.

BONNY J-M., MAUNIER L., RENO J.P. 164

Quantification des tissus musculaires et adipeux de pièces et de demi carcasses de porc à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique.

MONZIOLS M., COLLEWET G., BONNEAU M., MARIETTE F., KOUBA M., DAVENEL A. 163

SECURITE SANITAIRE DES PRODUITS CARNES

SESSION 5

167

CONFERENCES

Recherche de l'origine animale de salmonelloses humaines à *Salmonella Typhimurium* par caractérisation moléculaire.

CHEMALY M., RIVOAL K., FRAVALO P., ERMEL G., HUMBERT F., SALVAT G. 171

Maîtrise de l'hygiène des viandes bovines

CARTIER P. 175

COMMUNICATIONS ORALES

Cinétiques de destruction thermique de *Listeria innocua* CLIP 20-595 en milieu liquide ou adhérente à des surfaces inertes.

PEROVAL C., SAINT-ANDRE L., PORTANGUEN S., KONDOYAN A. 183

Survie de *campylobacter jejuni* et *campylobacter coli* sur des échantillons de couenne et de viande de porc stockés à 4°C

LAROCHE M., KAISER J., FEDERIGHI M., MAGRAS C. 185

POSTERS

Prévalence de la contamination des carcasses de porcs réfrigérées par *campylobacter sp.* Premiers résultats

MIRCOVICH C., LAROCHE M., DESMONTS M. H., FEDERIGHI M., MAGRAS C. 189

Nettoyage - désinfection des porcheries d'attente : Maillon dans la lutte contre les Salmonelles

MIRCOVICH C., MINVIELLE B., LE ROUX A. 191

Base biologique de la qualité de la viande

Session 1

Animateurs

DUCLOS M.
LEPETIT J.

INRA Nouzilly
INRA Theix

Conférence

Session 1

ROLE DES TISSUS CONJONCTIFS DANS LE DETERMINISME DE LA TENDRETE DE LA VIANDE

LEPETIT J.

Equipe Biophysique, Station de Recherches sur la Viande, INRA 63122 Saint Genes Champanelle

Le rôle des tissus conjonctifs dans la tendreté de la viande a fait l'objet des très nombreuses études abordées sous l'aspect quantitatif, chimique ou structural. Malgré tout, le lien entre certaines caractéristiques des tissus conjonctifs et la tendreté de la viande reste difficile à établir en dehors des cas extrêmes ou simples. Cette situation résulte d'une part d'une difficulté expérimentale, liée au fait qu'il est impossible de trouver deux viandes qui ne diffèrent que sur une seule caractéristique mais résulte également d'une difficulté théorique car compte tenu de la complexité du matériau viande, il est difficile d'élaborer des modèles théoriques permettant de prévoir les propriétés physiques qui sont à l'origine des variations de qualité et/ou de tendreté de la viande. Toutefois, il n'est pas remis en question que les tissus conjonctifs sont une structure déterminante de la tendreté, leur influence étant seulement plus ou moins importante selon le type de viande considéré. Chronologiquement le rôle des tissus conjonctifs a été abordé d'abord par leur aspect quantitatif, puis chimique et enfin par leur organisation tridimensionnelle ce qui correspond à l'évolution des techniques mais il est préférable pour bien comprendre les propriétés des tissus conjonctifs de décrire en premier lieu leur organisation.

Organisation microscopique

Le tissu conjonctif est présent dans la viande sous la forme de ses deux niveaux de structure les plus petits que sont l'endomysium et le pérимysium, l'épimysium étant généralement enlevé au moment de l'opération de parage. Ce sont tous les deux des tissus composés de fibres de collagène et d'élastine enveloppées dans une matrice composée de protéoglycans (Nishimura *et al* 1996a), l'endomysium entourant les fibres musculaires et le pérимysium étant lui même subdivisé en différents niveaux de structure entourant des groupes de fibres musculaires. Ces niveaux de structure s'observent très clairement avec la méthode de macération de Ohtani *et al* (1988) qui consiste à extraire le contenu des fibres musculaires par un traitement à la soude, malheureusement cette technique enlève également les fibres d'élastine et les protéoglycans. L'endomysium est constitué d'un fin réseau de fines fibrilles de collagène faiblement ondulées qui présentent une orientation plus ou moins aléatoire mais qui s'orientent au cours de la contraction musculaire (Purslow and Trotter 1994). Le pérимysium est constitué de fibres de collagène épaisses (5- 10 μm) d'orientation bien précise et fortement ondulées. Ces deux structures sont mises en place très tôt et ont pratiquement leur organisation définitive à la naissance (Fang *et al* 1999). Ensuite elles subissent seulement des modifications d'épaisseur et de taille au cours de la croissance. Ce schéma d'organisation est général chez tous les mammifères et oiseaux.

Taille des fibres et fibrilles de collagène

Nishimura *et al* 1996b ont montré que dans du *Semitendinosus* de fœtus de bovins les fibrilles du pérимysium ont la même taille que celles mesurées chez des taurillons. Pour d'autres tissus Diamant *et al* (1972) observent une augmentation du diamètre des fibrilles chez des animaux âgés. La taille moyenne des fibrilles du pérимysium est d'environ 65 nm \pm 0.5 nm alors qu'elle n'est que de 47 \pm 0.5 nm dans l'endomysium (Rowe 1978) ce qui est en accord avec les résultats de Fang *et al* (1999) qui donnent pour le diamètre des fibrilles de l'endomysium, 48 nm et pour celles du pérимysium 67 nm. Il existe par contre, d'un muscle à l'autre, des différences dans la taille des fibrilles de collagène (Light *et al* 1985). Toutefois on trouve des fibrilles de petites tailles aussi bien dans des muscles tendres comme le *Psoas Major* et le *Longissimus Dorsi* que dans des muscles de tendreté intermédiaire comme le *Semitendinosus* ou relativement durs comme le *Pectoralis Profundus*. Il n'apparaît donc pas de relation entre la taille des fibrilles de collagène et la tendreté. Il y a par contre une augmentation de la taille des fibres de collagène avec l'âge des animaux observée aussi bien chez le bovin (Nishimura *et al* 1996b) que chez le porc (Fang *et al* 1999). Il est possible de déterminer les quantités respectives d'endomysium et de pérимysium en procédant à un tamisage basé sur la taille des fibrilles de collagène. On observe que d'un muscle à l'autre il y a peu de variation de la quantité d'endomysium alors qu'il y a une grande variation de la quantité de pérимysium (Purslow 1999 : variation inter-muscles de la quantité d'endomysium, 2.5 ; variation de la quantité du pérимysium environ 10). En outre la variation de quantité de l'endomysium n'est pas reliée à la variation de dureté (Light *et al* 1985) alors que la variation de quantité du pérимysium correspond aux variations de dureté, ce qui conduit au fait qu'aujourd'hui les travaux concernant les tissus conjonctifs sont essentiellement orientés vers le pérимysium qui constitue environ 90% des tissus conjonctifs intramusculaires (McCormick 1999).

Constituants

Les propriétés du pérимysium proviennent principalement du collagène qui est une protéine très résistante puisque la molécule de collagène a un module d'élasticité de l'ordre de 3 à 9 GPa. (Sasaki and Odajima 1996). La fibre de collagène qui est constituée de fibrilles liées entre elles par des protéoglycans et des liaisons de réticulation a un module légèrement

inférieur de l'ordre de 0.5 à 1 GPa (Fung 1981). En comparaison l'élastine a un module d'élasticité de l'ordre de 0.1 MPa (Silver *et al* 1992). Aujourd'hui s'il reste certain que la teneur en collagène a une influence sur la tendreté on s'aperçoit que cette influence n'est évidente que si l'on a des variations importantes de teneur comme on peut en observer entre des types de muscles extrêmes. Dans ces conditions des corrélations élevées peuvent être observées ($r=0.7$: Dransfield 1977) mais plus fréquemment les corrélations observées sont plus faibles ($r=0.35$: Torrescano *et al* 2000 ; $r=0.22$: Renand *et al* 2001 ; $r=0.18$: Dransfield *et al* 2003). Et lorsqu'il s'agit d'expliquer les variations de tendreté d'un type de muscle donné alors la teneur en collagène est peu déterminante même si l'on considère des muscles de même état de maturation ($r=0.27$: Dransfield *et al* 2003, $r=0.41$: Ngapo *et al* 2002). Dans une expérience portant sur des muscles *longissimus dorsi* de 108 bovins, Jeremiah and Martin (1981) n'observent aucune corrélation entre teneur en collagène et résistance au cisaillement de viandes chauffées à 75°C après 13 jours de maturation.

Types de collagènes

Il faudrait en fait parler de collagènes car il en existe plusieurs types. Ceci tient au fait que la molécule de collagène est constituée de l'enroulement de 3 chaînes polypeptidiques appelées hélices α dans lesquelles l'enchaînement des acides aminés est différent selon le type de collagène. Il existe au moins 19 types de collagène tous basés sur une structure en triple hélice. Ils sont répartis en différentes catégories : les collagènes qui forment des fibrilles (dont les types I,II,III,V,etXI), les FACIT (Fibrills Associated Collagen with Interrupted Triple hélice) dont les types (IX,XII,XIV,et XVI) que l'on trouve à la surface des fibrilles et enfin les collagènes non fibrillaires qui incluent le collagène IV de la membrane basale et les types VIII et X, VII, et VI. Enfin il y a d'autres collagènes dont on ne connaît pas encore la structure (XIII,XV,XVII,XIX).

Dans le muscle il y a essentiellement les types I,III,IV,V et VI . Les types XII et XIV ont été détectés dans le muscle de poulet (Tono-Oka *et al* 1996) et plus récemment dans le périnysium de bovin (Listrat *et al* 2000). Les types XV et XIX ont été détectés dans la membrane basale de l'endomysium (Myers *et al* 1997). Les collagènes fibrillaires (I, III et V) et filamenteux (VI) sont distribués dans l'endomysium et le périnysium alors que le type IV se trouve exclusivement dans l'endomysium. Par contre la répartition pondérale des types III et I dans l'endomysium et le périnysium est sujette à controverses (Light *et al* 1985 ; Nakamura *et al* 2003). Le type I forme des fibrilles plus grosses que le type III et surtout le type I est beaucoup plus soluble au chauffage que le type III (Burson and Hunt 1986a), enfin le type III est considéré comme une forme embryonnaire du collagène fibrillaire et avec l'âge des animaux il y a une augmentation de la proportion type I / type III dans les tissus (Kovanen and Suominen 1989). Une relation positive a été observée entre teneur en type III et dureté (Bailey, Restall, Sims and Duance 1979) mais ce n'est pas une méthode quantitative car elle est basée sur de l'immunofluorescence. Burson and Hunt (1986b) trouvent l'inverse et Light , Champion, Voyle and Bailey (1985) ne trouvent pas de relation entre teneurs en type I ou III et tendreté. Il y a eu peu d'études mettant en relation la teneur en différents types de collagènes et la tendreté, c'est quelque chose à approfondir car il semble possible de moduler le dépôt des différents types de collagène dans le muscle (Listrat *et al* 1999).

Evolution post-mortem du tissu conjonctif

Au cours du stockage il y a une déstructuration des tissus conjonctifs dont la cinétique dépend de l'espèce animale. Il apparaît d'abord des zones de séparation au niveau des jonctions entre plusieurs enveloppes endomysiales. Ensuite l'endomysium tout entier se sépare en feuillets et ensuite le périnysium (Liu *et al* 1994, 1995). En microscopie électronique on observe que le réseau de fibrilles de l'endomysium devient beaucoup moins dense et que les tubes d'endomysium deviennent fragiles. De même les faisceaux du périnysium se séparent en fibres (Nishimura *et al* 1994, 1995). Ces changements sont détectables dès 5h *post-mortem* dans le cas du poulet et seulement après 10 jours pour la viande bovine. Par contre dans le cas de la viande ovine, il n'apparaît pas de modification de l'endomysium même après 14 jours de stockage (Taylor and Koochmarai 1998). Ces changements ont été mis en relation avec des modifications qui interviennent dans la matrice des tissus conjonctifs. Cette matrice est constituée de protéoglycans qui sont des macromolécules constituées d'une protéine sur laquelle sont fixées de façon covalente des chaînes de glycosaminoglycan dont on distingue plusieurs classes : Chondroïtine Sulphates (CS), Dermatan Sulphates (DS), Heparin (HEP) et Heparan Sulphates (HS), Keratan Sulphates (KS) et Hyluronan ou Acide Hyaluronique (HA) (Nishiumi 1999). Ces protéoglycans sont plus ou moins liés au collagène. La décorine est un protéoglycan de la famille chondroïtine sulphate/ dermatan sulphate qui se lie avec le collagène de type I et II (McCormick *et al* 1995). La quantité de protéoglycans diminue au cours du stockage (Nishimura *et al* 1996c) ainsi que la résistance du périnysium (Bernal and Stanley 1986 ; Lewis *et al* 1991) ce qui conduit à penser que la disparition des protéoglycans est à l'origine de la déstructuration des tissus conjonctifs et de leur fragilisation au cours du stockage. En appliquant au périnysium un modèle de matériau composite il a été montré (Sandrin *et al* 2004) que la diminution de résistance de ce tissu entre 2 et 14 jours pouvait être expliquée par une diminution d'environ 20% du module d'élasticité de la matrice de protéoglycans .

La majorité des études montre par contre qu'il n'y a pas de modification importante du collagène pendant la maturation. Ainsi, dans des viandes de lapin, Sharp (1963), de bovin, Pierson et Fox (1976), Chizolini *et al* (1977), Jeremiah and Martin (1981), Herring *et al* (1967), Pfeiffer *et al* (1972) ou de poulet Liu *et al* (1994), ces auteurs n'observent pas de modification de la solubilisation du collagène au cours du stockage. Par contre Kruggel and Field (1971), Stanley and Brown (1973), Stanton and Light (1987, 1988) observent des changements au niveau de la structure moléculaire du collagène. La température de contraction du collagène diminue au cours de la maturation d'environ 3 à 5 °C (Judge and

Aberle 1982) dans la viande bovine, de façon semblable dans la viande de porc (Field *et al* 1970) et plus faiblement dans la viande ovine (King 1987). Etherington (1984) mentionne une diminution faible de la tension isométrique du tissu conjonctif au cours du stockage. Ces modifications ont été attribuées à la disparition progressive des protéoglycans qui stabiliseraient le collagène. Une relation faible entre la présence des protéoglycans et la stabilité thermique a été observée (Nishiumi *et al* 1995). Pourtant les travaux de Rigby (1963) portant sur des tissus (peau, tendon, cartilages) qui contiennent entre 1 et 40% de protéoglycans montrent que la température de contraction thermique du collagène n'est pas liée à la quantité de protéoglycans. Une étude sur la stabilité thermique du collagène en solution a montré que c'est le type de protéoglycan plutôt que la quantité qui est susceptible de modifier la température de contraction thermique du collagène. Plus forte est l'interaction entre le protéoglycan et le collagène plus grand sera le degré d'agitation thermique que le système pourra supporter. Selon Blackwel and Gelman (1975) la force d'interaction entre le collagène et les protéoglycans augmente dans le sens :

$$HA < C4-S < HS < C6-S < KS-1 < DS < HEP$$

La matrice de protéoglycans est beaucoup moins rigide que les fibres de collagène (Sandrin *et al* 2004). Toutefois, dans le domaine des matériaux composites fibreux il est connu qu'un rapport module fibres/module matrice élevé est une condition nécessaire pour limiter la propagation des fractures (Suresh 1998). Donc ce n'est pas parce que la matrice est peu rigide comparée aux fibres de collagène qu'elle n'est pas importante. Dans une étude portant sur 8 muscles provenant de porc de même âge, Nishimura *et al* (1995) trouvent une corrélation de 0.49 entre la quantité de protéoglycans et la résistance au cisaillement de viandes crues. En outre, Eggen *et al* (1998) et Pedersen *et al* (1999) ont montré que la quantité de chaque type de protéoglycans change d'un muscle à l'autre et que c'est à prendre en compte pour expliquer des variations inter-muscles de la tendreté.

Liaisons de réticulation et solubilité

Le troisième volet de la chimie du collagène concerne les liaisons de réticulation et leur conséquence sur la solubilisation du collagène au chauffage. Ces liaisons covalentes s'établissent entre les molécules de collagène et entre les fibrilles et évoluent avec l'âge. Les événements chimiques et structuraux mis en jeu dans ce phénomène ont été détaillés dans diverses synthèses (Bailey 1989 ; McCormick 1994). Lorsque le collagène est chauffé il se dénature et se contracte aux environs de 58-65 °C pour se transformer en gélatine insoluble. Il y a des petites différences dans la température de contraction des divers types de collagènes (McCormick 1999). Les fibres de collagène qui initialement avaient une structure très organisée quasi cristalline et qui étaient inextensibles prennent la structure d'un réseau aléatoire et deviennent élastiques. Ce réseau est constitué de longues chaînes flexibles maintenues entre elles par des liaisons. Ce phénomène est dû à la rupture des liaisons intramoléculaires (ponts hydrogène). Si le traitement thermique est intense et long les liaisons intermoléculaires sont également rompues. C'est la nature des liaisons de réticulation qui va déterminer la force de contraction, l'amplitude de contraction, la solubilisation du collagène ainsi que les propriétés mécaniques finales des tissus conjonctifs après chauffage. Les propriétés mécaniques de tels réseaux aléatoires ont été beaucoup étudiées et ont donné naissance à la théorie de l'élasticité caoutchoutique (Flory and Rehner 1943) qui a été ensuite appliquée au collagène dénaturé (Wiederhorn and Reardon 1952 ; Wiederhorn, Reardon and Browne 1953 ; Flory and Garrett 1958 ; Morgan 1960 ; Flory and Spurr 1961 ; McClain, Kuntz and Pearson 1969 ; Le Lous *et al* 1983). La loi qui régit le comportement mécanique d'un tel matériau est donnée par

$$f = NRTv^{1/3} \left(\alpha - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (\text{Wiederhorn } et al \text{ 1953})$$

avec f la force de contraction, α la déformation, T la température (°K), R la constante des gaz parfaits, N le nombre de liaisons intermoléculaires par unité de volume, et v le pourcentage volumique du constituant dans le matériau. Cette relation permet de décrire l'ensemble des phénomènes intervenant dans le collagène au cours du chauffage tels que l'augmentation de la force de contraction avec la température, avec le nombre de liaisons de réticulation ou avec la déformation, phénomènes qui sont déterminants dans la tendreté.

En particulier cette relation permet de comprendre l'augmentation de la force de contraction du collagène avec l'âge de l'animal (Horgan 1991) qui résulte de l'augmentation du nombre de liaisons de réticulation du collagène et que l'on peut mettre en évidence avec le test de tension isométrique (Kopp and Bonnet 1987). Cette relation permet également de calculer le nombre de liaisons de réticulation présentes dans un échantillon de collagène. Mc Clain *et al* (1969) en utilisant cette théorie, observent que le nombre de liaisons de réticulation diminue exponentiellement avec le temps de chauffage, qu'il est plus faible chez le porc que dans la viande bovine et qu'il double chez le porc pendant les 5 premiers mois. Dans le cas de la viande bovine il est multiplié par 10 entre 3 mois et 10 ans (Kopp and Bonnet 1987). Il est à noter que le nombre de liaisons de réticulation augmente de façon beaucoup plus rapide dans les muscles d'oiseaux que ceux de mammifères (McCormick 1999). Cette méthode mécanique est la plus directe pour mesurer les liaisons de réticulation, mais les liaisons de réticulation peuvent aussi être mesurées de façon chimique. Des revues de la biochimie des liaisons de réticulation ont été faites par Eyre (1984) et Reiser *et al* (1992). Il y a en fait plusieurs types de liaisons de réticulation. La stabilité thermique du collagène est liée à la présence des liaisons de réticulation ketoamine et sa labilité thermique est corrélée avec les liaisons aldimine (Bailey and Sims, 1976). Ceci a été confirmé par Allain *et al* (1978) en mesurant la relaxation de la force de contraction du collagène. Ces 2 types de liaisons diminuent lorsque l'âge des animaux augmente. Ce sont en fait

des précurseurs de liaisons stables que sont la piridinoline et le chromogène d'Ehrlich qui évoluent avec l'âge (Horgan *et al* 1991a).

Le périnysium est plus réticulé que d'autres tissus conjonctifs tels que le tendon ou l'épimysium mais moins réticulé que l'endomysium (Kopp and Bonnet 1987). Il y a surtout une différence importante de liaisons de réticulation d'un muscle à l'autre et ce quel que soit le niveau de structure considéré (Light *et al* 1985). Les muscles impliqués dans le mouvement ont plus de liaisons de réticulation que ceux liés à la position. Il est généralement admis que le degré de réticulation du collagène d'un muscle augmente avec sa teneur en collagène (Shimokomaki *et al* 1972, Light *et al* 1985, Kopp and Bonnet 1987), toutefois Jeremiah and Martin (1981) ne trouvent pas de relation entre ces deux caractéristiques. L'existence de ces liaisons plus ou moins stables va affecter la stabilité thermique du collagène et donc sa solubilité telle que mesurée par la méthode de Hill (1966) qui est un autre moyen de mesurer la présence de liaisons de réticulation thermostables (Kopp 1976). La solubilité thermique du collagène mesurée par la méthode de Hill (1966) varie beaucoup d'une espèce à l'autre (tableau 1).

Espèce	Solubilité	Commentaires	Références
Lapin	LD, 24% TA, 40%	Poids vif 2.3 - 3 kg	Gilka et Hornich 1975
	LL, 75%	Age 70 jours	Combes <i>et al.</i> 2003
Poulet	PM, 29%	Age 3 mois	Coro <i>et al.</i> 2000
	PP, 32% BF, 50%	Age 7 mois 1/2	Liu <i>et al.</i> 1996
Dinde	PS 22-25 %	16 semaines	Fernandez <i>et al</i> 2001
Porc	LD, 22% ST, 12% BF, 17%	Age 14 mois	Nishiumi <i>et al.</i> 1995
	LD, 17.4% BF, 18.2%	Poids vif 105 kg	Lebret <i>et al.</i> 1998
Bovin	SM, 3-7%	USDA groups A-E	Smith et Judge 1991
	LD, 18-19%	Age 8-17 mois	Crouse <i>et al.</i> 1985
	GB, 6.9% ST, 7.7%	Taurillons 15-23 mois	Ngapo <i>et al.</i> 2002
	ST, 10%	Taurillons 18 mois	Palka 1999
	SM, 9%	Vaches de réforme	Berge <i>et al.</i> 2001
	LD, 27% ST, 24%	Génisses 20 mois	Berge <i>et al.</i> 1997
	LD, 44%	Veau 1 an	Campo <i>et al.</i> 2000
Ovin	LD, 8-12%	Agneaux USDA groups A-Y	Smith et Carpenter 1970
Caprin	BF, 11.2%	Age 12-33 mois	Shiba <i>et al.</i> 2000

Tableau 1 : Exemples de solubilité thermique du collagène de différentes espèces.

Muscles : BF, *Biceps Femoris*, GB *Gluteobiceps*, LD, *Longissimus Dorsi*, LL, *Longissimus Lomborum*, PM, *Pectoralis Major*, PP, *Pectoralis Profundus*, PS, *Pectoralis Superficialis*, SM, *Semimembranosus*, ST, *Semitendinosus*, TA, *Tibialis anterior*.

La réticulation est plus importante chez les mâles que chez les femelles, elle est modifiée par l'activité physique, par les anabolisants et lors d'une croissance compensatrice (McCormick 1994 ; Petersen *et al* 1997, Shiba *et al* 2000). Autant il est évident de relier les caractéristiques chimiques du collagène aux propriétés mécaniques des fibres de collagène autant il est difficile d'établir un lien entre ces caractéristiques chimiques et la résistance de la viande ou sa tendreté. Bailey (1989) et Bailey and Light (1989) montrent une relation très positive ($r=0.82$) inter muscles entre la quantité de liaisons de réticulation thermostables et la résistance de viandes bovines en compression. Néanmoins la majorité des études conclue à une absence de relation entre cross-link et tendreté (Shimokomaki *et al* 1972 ; Avery *et al* 1998) ou à des corrélations généralement faibles (Ngapo *et al* 2002) sur des viandes bovines. Avery *et al* (1998) dans une expérience portant sur des bovins de 400 à 800 jours ne trouvent aucune relation entre la tendreté du *Longissimus Dorsi* et la teneur en piridinoline. Pour la viande de porc qui est moins réticulée Avery *et al* (1996) n'observent aucune relation entre la résistance de viandes chauffées (80°C) et les diverses liaisons de réticulation. Les relations entre la solubilité thermique du collagène et la tendreté de la viande sont à peu près du même ordre. A part si l'on considère des animaux d'âges très différents, comme dans l'étude de Fang *et al* (1999), portant sur des porcs de la naissance à 55 mois et qui met en évidence une corrélation très élevée $r=0.98$ entre solubilité et force de cisaillement, d'une façon générale les corrélations sont nettement plus faibles. Dans une étude portant sur 106 taurillons Charolais la relation entre solubilité thermique et tendreté à 15 jours sur du *Longissimus Dorsi* est de 0.19 (Renan *et al* 2001). Pour des animaux de 13-15 mois Chambaz *et al* (2003) donnent un $r=-0.19$. Pour des viandes de vache de réforme Berge *et al* (2001) donnent une relation de -0.14 . De Vol *et al* (1988) ne trouvent également aucune relation entre solubilité du collagène et tendreté dans la viande de porc. Pour des viandes d'agneaux et de mouton Bruwer *et al* (1987) donnent $r=0.41$ entre solubilité du collagène et tendreté et Young *et al* (1994) n'observent pas de relation significative.

Il n'est pas surprenant qu'il n'y ait pas une relation étroite entre la solubilité du collagène mesurée selon la méthode de Hill (1966) et la tendreté de la viande, car cette méthode mesure la solubilité d'un échantillon de collagène broyé chauffé à 70°C dans une solution à pH 7. Dans un tel échantillon le collagène peut se contracter librement ce qui n'est pas le cas dans la viande car il est gêné dans sa contraction par la présence des fibres musculaires. Or les travaux de Rochdi, Bonnet et Kopp (1985), Snowden et Wiedemann (1978), MacFarlane and Smith (1978) montrent bien que la dénaturation du collagène est très fortement diminuée si le collagène est chauffé sans être libre de se contracter. Donc la méthode de Hill (1966) qui mesure la solubilité du collagène chauffé sans contrainte ne reflète pas la solubilisation du collagène lorsqu'il est chauffé in situ.

Organisation tridimensionnelle du réseau perimysial

Les muscles sont subdivisés par le pérимыsium qui délimite des faisceaux dits primaires qui entourent un ensemble de fibres musculaires, puis des faisceaux secondaires qui entourent des ensembles de fibres musculaires et on observe parfois un niveau tertiaire. Ce type de subdivision n'est pas propre au muscle et se rencontre dans d'autres tissus biologiques, animaux et végétaux, principalement dans ceux qui sont soumis à des contraintes mécaniques. On parle de matériaux hiérarchisés (Silver *et al* 1992). Cette subdivision permet à ces matériaux d'optimiser certaines propriétés mécaniques. Le problème dans le cas du muscle est que l'on ne connaît pas les propriétés qui sont optimisées car le mode de transmission des forces lors de la contraction musculaire n'est pas bien connu (Huijing 1999). Il a été suggéré (Purslow 2002) que la subdivision du muscle en faisceaux par le pérимыsium est liée à la nécessité pour le muscle de développer des déformations de cisaillement lorsque le muscle change de forme lors de la contraction ou l'étirement. Mais aujourd'hui il n'est pas possible d'expliquer l'origine des différences dans l'organisation des réseaux de pérимыsium que l'on observe d'un muscle à l'autre ou selon le type d'animal.

L'idée dominante aujourd'hui est que les efforts générés pendant la contraction musculaire sont transmis par des contraintes de cisaillement à travers la matrice extracellulaire et il a été montré que les fibres de collagène du pérимыsium ne sont pas mises en tension lors de la contraction musculaire (Purslow 1999) car elles sont ondulées dans les conditions physiologiques et donc elles ne peuvent pas transmettre des efforts en traction. Par conséquent, il est difficile d'imaginer un lien direct, fonctionnel entre la subdivision du pérимыsium et les caractéristiques des fibres de collagène de ce tissu. Or il est bien connu que la résistance de la viande et donc sa tendreté dépendent fortement des fibres de collagène du pérимыsium. Mais le problème de la résistance de la viande est différent du problème de la résistance du muscle. En particulier la tendreté de la viande a à voir avec des caractéristiques liées à la rupture ce qui n'est pas le cas pour le muscle et deuxièmement le réseau de fibres perimysiales n'intervient pas dans les propriétés du muscle car ces fibres sont ondulées, par contre après la contraction thermique les fibres de collagène perdent leur ondulation et le pérимыsium devient une armature autour des faisceaux et l'on comprend alors qu'il peut contribuer aux variations de propriétés mécaniques et à la tendreté de la viande. Il y a principalement 2 caractéristiques des réseaux qui ont été étudiées : La taille des faisceaux et l'épaisseur des enveloppes perimysiales.

Les travaux de Brady (1937) font état d'une relation positive entre la taille des faisceaux du pérимыsium et la tendreté alors que l'ensemble des autres études (Hammond 1932, Ramsbottom *et al* 1945, Carpenter *et al* 1963, Cooper *et al* 1968) montrent que la tendreté augmente quand la taille des faisceaux diminue. Mais dans tous les cas la capacité de prédiction de la tendreté à partir de la taille des faisceaux est faible car les corrélations sont inférieures à 0.4.

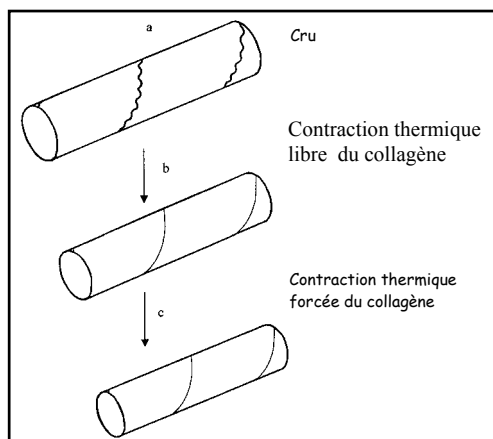
La deuxième caractéristique du réseau perimysial prise en compte est l'épaisseur des trames. L'épaisseur des trames perimysiales varie en fonction de l'espèce et il existe des différences importantes d'épaisseur d'un muscle à l'autre (Brooks and Savell 2004). Si l'on prend en compte la variation d'épaisseur qui intervient au cours de la croissance une corrélation très élevée peut être obtenue avec la résistance (Fang *et al* 1999 : $r=0.98$). En prenant en compte la variation inter-muscles chez des poulets de même âge (30 semaines) Liu *et al* (1996) obtiennent un r^2 de 0.95 entre la force de cisaillement du muscle et l'épaisseur du pérимыsium. Par contre dès que la viande est chauffée la corrélation diminue. Pour de la viande bovine (animaux 15-18 mois) même en prenant en compte la variation inter - muscles, Brooks and Savell (2004) n'obtiennent qu'une corrélation de 0.13 avec les forces de cisaillement sur viande chauffée 30 min à 70°C.

Chauffage du collagène dans la viande

Si prises une par une les caractéristiques du tissu conjonctif n'apparaissent pas reliées à la tendreté de la viande, cela ne signifie pas pour autant qu'elles n'interviennent pas dans cette caractéristique sensorielle. La difficulté de relier ces caractéristiques à la tendreté vient du fait qu'elles interagissent, au moment de la contraction thermique du collagène, pour conduire à une résistance finale des tissus conjonctifs après chauffage. Bien que les phénomènes mis en jeu soient assez bien compris il est encore difficile de calculer les propriétés finales des tissus conjonctifs après chauffage.

Lorsqu'un échantillon de viande est chauffé on peut distinguer deux phases dans la contraction thermique du collagène (figure 1).

Figure 1 : Les différentes phases de la contraction thermique du collagène dans la viande. (Lepetit *et al* 2000)



Il y a une première phase où les fibres de collagène peuvent se contracter librement d'une certaine quantité sans être gênées par les fibres musculaires si ces fibres de collagène sont ondulées, ce qui est le cas général à l'exception des viandes hypercontractées (cold shortening) ou hyper étirées (cas du *Psoas major*). Si le collagène est libre il se contracte de 74%. Il y a ensuite une deuxième phase de contraction, forcée, qui ne peut avoir lieu que si la pression exercée par les fibres de collagène sur les fibres musculaires est supérieure à la résistance de ces fibres musculaires. Ce qui veut dire que le raccourcissement final des fibres de collagène après chauffage dans la viande va dépendre de cet équilibre de forces. Or les travaux de Snowden *et al* 1977 ont montré que le module d'élasticité des fibres de collagène (qui est une indication de leur résistance) diminue très rapidement avec le taux de contraction de ces fibres au cours du chauffage (figure 2).

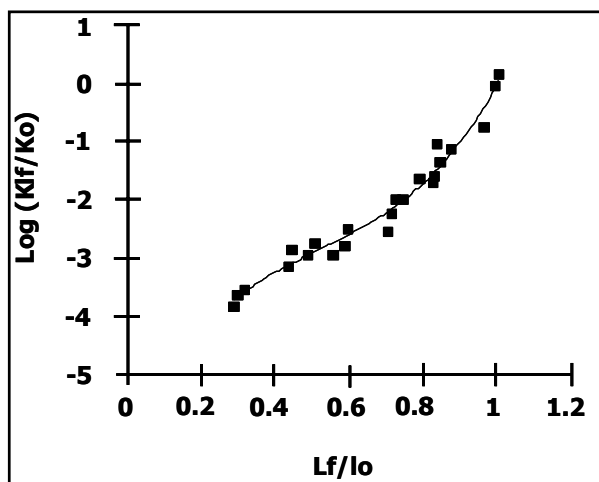


Figure 2 : Evolution du module d'élasticité du collagène en fonction de son état de contraction final après chauffage à 80°C. (Snowden *et al* 1977).

Lo ; longueur initiale, Lf longueur finale

Ko : module initial, Kf module final.

Collagène épimysial du muscle *Longissimus Dorsi* de mouton (5-8 ans).

Si le collagène peut se contracter de 10% au chauffage son module d'élasticité est divisé par 10, pour 20% de contraction il est divisé par environ 50. En comparaison l'élastine est très stable à la chaleur (Deethardt and Tuma 1971) et si le collagène se contracte fortement son module d'élasticité devient semblable à celui de l'élastine. Ce qui fait que pour des muscles riches en élastine comme le *Semitendinosus* ou le *Lattissimus Dorsi* (Bendall 1967) ce constituant peut avoir un rôle sur la résistance des tissus conjonctifs après chauffage. Il semble toutefois que ce rôle soit minime (Cross *et al* 1973). On voit donc qu'une faible variation du taux de contraction du collagène aura une très grande importance sur sa résistance finale et donc sur la tendreté de la viande. C'est certainement la raison pour laquelle il est difficile de relier les caractéristiques initiales des tissus conjonctifs à la tendreté de la viande. Il est possible d'estimer le pourcentage de contraction du collagène dans la viande en se basant sur les modifications géométriques des fibres musculaires (diamètre et longueur) et en intégrant

les pertes au chauffage (Lepetit *et al* 2000). Dans une viande à l'état de repos (longueur de sarcomère voisine de 2 μm) les fibres de collagène peuvent se contracter d'un peu plus de 20%. Pour un muscle contracté au froid (longueur de sarcomère $\sim 1.4 \mu\text{m}$) la contraction finale du collagène au chauffage est significativement plus faible. Cet écart faible, d'environ 5% est néanmoins susceptible de produire une différence de l'ordre de 50% du module d'élasticité du collagène d'une viande contractée au froid par rapport à celui d'une viande normale en se basant sur la courbe de Snowden *et al* (1977). On voit donc que deux viandes qui ont une teneur en collagène égale et un collagène de même caractéristique chimique peuvent conduire après chauffage à des états de contraction thermique du collagène différents selon les caractéristiques des fibres musculaires. Plus généralement la contraction du collagène au cours du chauffage va dépendre de l'équilibre entre la pression exercée par les tissus conjonctifs (endomysium et périnysium) et la résistance des fibres musculaires ou des faisceaux de fibres musculaires et on peut donc présupposer en prenant en compte l'équation de Wiederhorn *et al* (1953) que dans cet équilibre de pression les variables suivantes vont intervenir :

- nombre de liaisons de réticulation. Le nombre de liaisons est en fait une fonction de la température et du temps, car les liaisons de réticulations sont détruites au cours du temps de chauffage. La cinétique de ce phénomène est loin d'être connue (Le Lous *et al* 1982).

- teneur en collagène du muscle. Kopp (1977) a montré que la force de contraction d'un échantillon de viande augmente avec sa quantité de collagène. Le nombre de liaisons de réticulation étant rapporté à la quantité de collagène, il est nécessaire de multiplier ce nombre par la teneur en collagène pour obtenir la quantité totale de liaisons dans un échantillon de viande. Plus la teneur en collagène est élevée, plus la pression exercée par les tissus collagéniques sera forte. Par conséquent, toutes choses égales par ailleurs, la force de contraction du collagène et donc le module d'élasticité qui s'en déduit seront proportionnels au produit de la quantité de collagène par le nombre de liaisons de réticulation.

- pH : La température de contraction du collagène diminue avec le pH (Kopp 1981, Horgan, *et al* 1991).

- diamètre des fibres musculaires ou des faisceaux. Toutes choses égales par ailleurs, une fibre de collagène qui se contracte sur un cylindre, comme une fibre musculaire, exercera une pression d'autant plus grande que le diamètre du cylindre est petit. Il en est de même pour la taille des faisceaux du périnysium qui sera une variable intervenant dans la pression exercée mais seulement s'ils sont intacts lors du chauffage de la viande.

- angle entre les fibres de collagène et les fibres musculaires. Plus cet angle est grand, plus la pression augmente. L'effet de l'angle est par contre très difficile à appréhender car au cours du chauffage il y a une évolution de cet angle avec la température (Grajales and Lepetit 1999).

- état de maturation de la viande

- collagène : Etherington (1987) mentionne une diminution de la tension isométrique du collagène avec la maturation. La conséquence attendue est une diminution, au cours du stockage, de la pression exercée par les tissus conjonctifs.

- fibres musculaires : La résistance longitudinale mais surtout transversale des fibres musculaires s'oppose à la contraction du collagène. Or il y a environ une diminution d'un facteur 10 de la résistance à la compression des fibres musculaires au cours de la maturation (Lepetit and Hamel 1998).

Toutes ces variables vont interagir au moment de la contraction thermique pour aboutir à un état de contraction final des fibres de collagène qui déterminent leur module d'élasticité. Si l'on compare des viandes présentant seulement de faibles variations de diamètre des fibres musculaires ou des faisceaux, de pH, de longueur de sarcomère et d'état de maturation alors l'essentiel des variations du module d'élasticité résultera du produit quantité de collagène x nombre de liaisons de réticulation. En appliquant ce calcul aux données publiées par McCormick 1994, Coro *et al* 2000 et Ngapo *et al* 2002, on montre que ce produit explique les variations de dureté observées inter-muscle, entre types d'animaux et en fonction de l'âge. En particulier cela explique pourquoi le *Psoas Major* de bovin qui a peu de collagène mais un collagène très réticulé est néanmoins un muscle très tendre, car le produit de sa quantité de collagène par son nombre de liaisons est faible.

On voit donc que les caractéristiques finales des tissus conjonctifs après chauffage dépendent de leurs caractéristiques initiales mais également de celles des fibres musculaires. Inversement la pression exercée par les tissus conjonctifs sur les fibres musculaires va certainement modifier profondément les propriétés de celles-ci ne serait-ce déjà que par le fait que cette pression contribue à la sortie d'eau des fibres au cours du chauffage. Par conséquent les propriétés finales des fibres musculaires vont dépendre de celles des tissus conjonctifs. Donc, dans un matériau comme la viande chauffée il n'est pas possible d'étudier indépendamment le rôle de chacune des structures sur la résistance finale du produit. Il y a des interactions fortes entre les structures et c'est un phénomène très connu dans le cas de matériaux composites beaucoup plus simples que la viande. L'effet bénéfique de la contraction thermique du collagène sur la composante collagénique s'accompagne d'un effet négatif sur la composante myofibrillaire. Par conséquent selon le type de viande il y a un optimum de tendreté qui reste à déterminer et qui dépendra à la fois des caractéristiques des tissus conjonctifs et de celles des fibres musculaires.

L'ensemble des caractéristiques des réseaux collagéniques et des fibres musculaires vont conduire à un état de contraction final des fibres de collagène et de durcissement des fibres musculaires et il devient alors difficile de dire quel est le rôle respectif de chacune de ces structures sur la résistance globale ou la tendreté de la viande. On peut distinguer 3 phases dans le durcissement de la viande au chauffage. Selon les études l'allure générale est un peu différente mais cela dépend des temps de chauffage, des types de muscles mais aussi des méthodes utilisées (Figure 3). Il y a deux écoles concernant l'interprétation des modifications de résistance de la viande en fonction de la température. Selon Davey and Gilbert (1974) la première augmentation qui intervient entre 40 et 60 °C est associée à la dénaturation thermique des protéines myofibrillaires alors que la deuxième augmentation serait associée au phénomène de contraction thermique du collagène. Selon Bouton and Harris (1972), les modifications observées entre 50 et 60°C seraient dues à des modifications liées au

tissu conjonctif alors que les modifications observées au dessus de 65°C seraient dues au durcissement des fibres musculaires. Entre ces deux phases de durcissement il y a généralement un plateau ou une diminution significative de la résistance de la viande (figure 4).

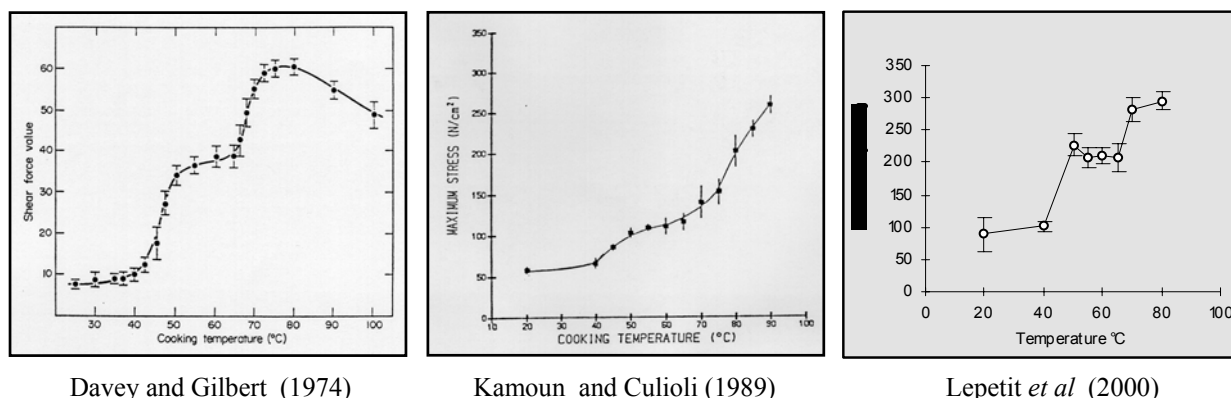


Figure 3 : Evolution de la résistance de la viande au cours du chauffage. Cas général.

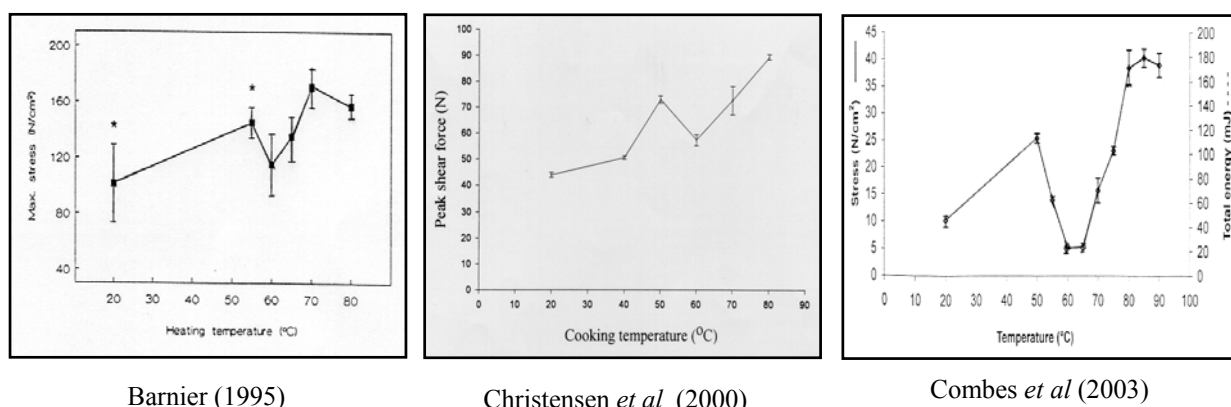


Figure 4 : Evolution de la résistance de la viande au cours du chauffage. Mise en évidence de la contraction thermique libre du collagène au voisinage de 60°C.

Les conclusions sur le rôle de chaque structure dans les différentes phases sont basées sur des corrélations mettant en jeu l'âge des animaux, le type de muscle et l'état de maturation ou de contraction et dans ces conditions il est difficile de conclure. Une approche nouvelle de micro-mécanique a été introduite par Lewis and Purslow (1989) qui consiste à isoler les structures à partir de la viande chauffée et à tester leurs propriétés mécaniques. Christensen, *et al* (2000) ont montré que la résistance des fibres musculaires est pratiquement constante ou diminue légèrement jusqu'à 60°C puis augmente ensuite rapidement. Au contraire la résistance du tissu conjonctif intramusculaire augmente jusqu'à 50°C puis diminue quand la température augmente. Toutefois, il est important de ne pas confondre la résistance du tissu conjonctif avec sa contribution à la tendreté de la viande. En effet si la résistance du tissu conjonctif diminue pour des températures élevées, la pression qu'il exerce sur les fibres musculaires augmente avec la température et peut tout à fait être à l'origine du durcissement des fibres musculaires. La diminution plus ou moins importante de la résistance de la viande observée au voisinage de 60°C (figure 4) par Barnier (1995), Christensen *et al* (2000), Combes *et al* (2003), s'explique par la contraction libre du collagène, c. à. d. la phase où le module d'élasticité du collagène diminue sans que le collagène ne comprime les fibres musculaires.

Concernant le rôle des protéoglycans dans la résistance du tissu conjonctif, Lewis *et al* (1991) ont montré, sur des muscles *Semiteminosus* de génisses de 18 mois, que la fragilisation du périnysium intervenant au cours de la maturation et associée à la disparition des protéoglycans n'est visible que jusqu'à une température de chauffage de 60°C (figure 5).

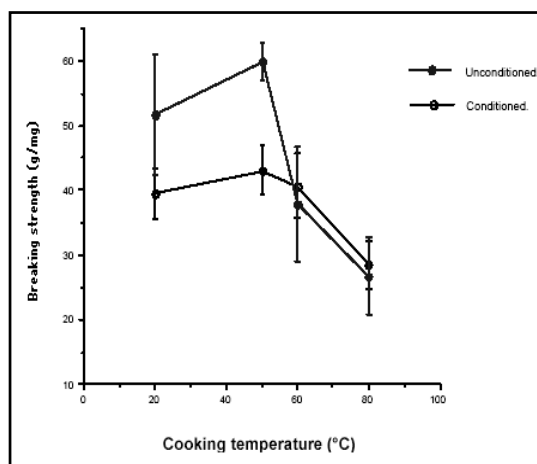


Figure 5 : Modification de la résistance du pérимыsium avec la température de chauffage.
Pérимыsium isolé à partir de viandes chauffées pendant 1h. Muscle *Semitendinosus* de génisses (18 mois)
Lewis, Purslow and Rice (1991).

Toutefois cette étude concerne un collagène relativement soluble et un tissu conjonctif très riche en élastine et ceci peut masquer un éventuel effet des protéoglycans . Il serait par conséquent nécessaire de tester l'effet de la maturation sur la résistance du pérимыsium après chauffage dans le cas général de viandes présentant des niveaux différents de réticulation du collagène et sur des muscles dont la teneur en l'élastine est plus faible.

La difficulté de relier les caractéristiques physico-chimiques et structurales des tissus conjonctifs à la tendreté de la viande tient au fait que ces caractéristiques ainsi que celles des fibres musculaires interagissent au moment de la contraction thermique du collagène et conduisent à un état final de contraction des fibres de collagène qui est le déterminant des propriétés mécaniques des tissus collagéniques. Chaque caractéristique prise individuellement peut être alors être soit fortement soit faiblement reliée à la tendreté selon le niveau et l'amplitude de variation des autres caractéristiques. La viande étant un matériau composite dans lequel il y a de fortes interactions entre les structures au cours du chauffage, il n'est pas possible d'étudier indépendamment le rôle des tissus conjonctifs et le rôle des fibres musculaires sur la tendreté de la viande.

Références

- Allain, J. C., Le Lous, M., Bazin, S., Bailey, A. J., and Delaunay, A. 1978, *Biochimica et Biophysica Acta*. 533 (147-155).
- Avery, N. C., Sims, T. J., Warkup, C., and Bailey, A. J. 1996. *Meat science*. 42 : 3 (355-369).
- Avery, N. C., Sims, T. J., Warkup, C., and Bailey, A. J. 1998. 44th International Congress of Meat Science and Technology. Barcelona, Spain. (720-721).
- Bailey, A. J. 1989, The chemistry of collagen cross-links and their role in meat texture. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*. American Meat Science Association. 42 (127-135).
- Bailey, A. J. and Light, N. D. 1989, *Connective tissue in meat and meat products*. Elsevier Applied Science. London and New York. (355).
- Bailey, A. J., Restall, D. J., Sims, T. J., and Duance, V. C. 1979J. *Sci Food and Agriculture*. 30 (203-210).
- Bailey, A. J. and Sims, T. J. 1976. *Biochemistry Journal*. 153 (211-215).
- Barnier, V. M. H. 1995, *Determinants and predictors of beef tenderness*. Thèse Université d'Utrecht
- Bendall, J. R. 1967, *J. Science of Food and Agriculture*. 18 (553-558).
- Berge, P., Kuypers, R., and Kurth, L. B. 1997, 43rd International Congress of Meat Science and Technology. Auckland, New Zealand. (548-549).
- Berge, P., Labas, R., Jurie, C., Dubroeuq, H., Taylor, R., and Listrat, A. 2001. 47th International Congress of Meat Science and Technology. Krakow, Poland. 1 (182-183).
- Bernal, V. M. and Stanley, D. W. 1986. 32rd European Meeting of Meat Research Workers. Ghent, Belgium. (161-164).
- Blackwell, J. and Gelman, R. A. 1975, Polypeptide-mucopolysaccharide interactions. *In: Fibrous Biopolymers*. EDT Atkins and Keller, A. Butterworth, London. (93-108).
- Bouton, P. E. and Harris, P. V. 1972, *Journal of Food Science*. 37 (140-144).
- Brady, D. E. 1937, *Proc. Amer. Soc. Anim. Prod.* 30 (246-250).
- Brooks, J. C. and Savell, J. W. 2004, *Meat Science*. 67 (329-334).
- Bruwer, G. G., Grobler, I., Smit, M., Naudé, R. T., and Volsoo, W. A. 1987, *S. Afr. J. Anim. Sci.* 17 : 2 (95-103).
- Burson, D. E. and Hunt, M. C. 1986a, *Meat science*. 17 (153-160).
- Burson, D. E. and Hunt, M. C. 1986b, *Journal of Food Science*. 51 : 1 (51-53).
- Campo, M. M., Santolaria, P., Sañudo, C., Lepetit, J., Olleta, J. L., Panea, B., and Alberti, P. 2000, *Meat Science*. 55 (371-378).
- Carpenter, Z. L., Kauffman, R. G., Bray, R. W., Briskey, E. J., Weckel, K. G. 1963J *Food Science*. 28 (467-471).

- Chambaz, A., Scheeder, M. R. L., Kreuzer, M., and Dufey, P. A. 2003, *Meat Science*. 63 (491-500).
- Chizzolini, R., Ledward, D. A., and Lawrie, R. A. 1977, *Meat Science*. 1 (111).
- Christensen, M., Purslow, P. P., and Larsen, L. M. 2000, *Meat Science*. 55 (301-307).
- Combes, S., Lepetit, J., Darche, B., and Lebas, F. 2003, *Meat Science*. 66 (91-96).
- Cooper, C. C., Breidenstein, B. B., Cassens, R. G., Evans, G., Bray, R. W. 1968, *J. Anim. Sci.* 27 (1542-1546).
- Coro, F. A. G., Youssef, E. Y., and Shimokomaki, M. 2000, 46th International Congress of Meat Science and Technology. Argentine. Argentine. 2 (432-433).
- Cross, H. R., Carpenter, Z. L., and Smith, G. C. 1973, *Journal of Food Science*. 38 (998-1003).
- Davey, C. L., Gilbert, K. V. 1974, *Journal of Science of Food and Agriculture*. 25 (931-938).
- De Vol, D. L., McKeith, F. K., Bechtel, P. J., Novakofski, J., Shanks, R. D., Carr, T. R. 1988, *J. Anim. Sci.* 66 (385-395).
- Deethardt, D. and Tuma, H. J. 1971, *Journal of Food Science*. 36 (563-565).
- Diamant, J., Keller, A., Baer, E., Litt, M., and Arridge, R. G. C. 1972, *Proc. R. Soc. Lond.* 180 (293-315).
- Dransfield, E. 1977 *Journal of Science of Food and Agriculture*. 28 (833-842).
- Dransfield, E., Martin, J. F., Bauchart, D., Abouelkaram, S., Lepetit, J., Culioli, J., Jurie, C., and Picard, B. 2003, *Animal Science*. 76 (387-399).
- Eggen, K. H., Ekholdt, W. E., Host, V., and Kolset, S. O. 1998, *Basic Appl. Myol.* 8 : 2 (159-168).
- Etherington, D. J. 1984, *Journal of animal science*. 59 : 6 (1644-1650).
- Etherington, D. J. 1987, *In: Advances in Meat Research*. A.M. Pearson, T.R. Dutson and A.J. Bailey. Van Nostrand Reinhold Co., New York, USA. 4 (351).
- Eyre, D. R. 1984, *Ann. Rev. Biochem.* 53 (717-748).
- Fang, S. H., Nishimura, T., and Takahashi, K. 1999 *J. Anim. Sci.* 77 (120-130).
- Fernandez, X., Santé, V., Baeza, E., Lebihan-Duval, E., Berri, C., Remignon, H., Babile, R., Le Pottier, G., Millet, N., Berge, P., and Astruc, T. 2001, *British Poultry Science*. 42 (462-469).
- Field, R. A., Pearson, A. M., Koch, D. E., and Merkel, R. A. 1970, *Journal of Food Science*. 35 (113-116).
- Flory, P.J., Garrett, R. R. 1958, *J. Am. Chem. Soc.* 80 (4836-4845).
- Flory, P.J., Reyhner, J. 1943, *The Journal of Chemical Physics*. 11 (521-526).
- Flory, P.J., Spurr, Jr. O.K. 1961, *In: Melting and tensile strength of collagen fibers*. Cornell University, Ithaca, New York. 83 (1308-1316).
- Fung, Y. C. 1981, *Biomechanics. Mechanical properties of living tissues*. Springer - Verlag. New York - Heidelberg - Berlin. (433).
- Gilka, J. and Hornich, M. 1975, *Zivocisna Vyroba*. 20 : 68 (763-771).
- Grajales, A., Lepetit, J., and Favier, R. 1999, Geometrical modifications of perimysial connective tissue in meat during cooking. *Congrès de Yokohama*. Yokohama.
- Hammond, J. 1932, *In: Biological Monographs and Manuals*. Oliver & Boyd. London.
- Herring, H. K., Cassens, R. G., and Briskey, E. J. 1967, *Journal of Food Science*. 32 (534-538).
- Hill, F. 1966, *Journal of Food Science*. 31 (161-166).
- Horgan, D. J. 1991, *Meat science*. 29 (243-249).
- Horgan, D. J., Jones, P. N., King, N. L., Kurth, L. B., and Kuypers, R. 1991a, *Meat Science*. 29 (251-262).
- Horgan, D. J., Kurth, L. B., and Kuypers, R. 1991, *Journal of Food Science*. 56 : 5 (1203-1208).
- Huijing, P. A. 1999, *Journal of Biomechanics*. 32 (329-345).
- Jeremiah, L. E. and Martin, A. H. 1981, *Canadian Journal of Animal Science*. 61 (53-61).
- Judge, M. D. and Aberle, E. D. 1982, *Journal of Animal science*. 54 : 1 (68-71).
- Kamoun, M. and Culioli, J. 1989, *Sciences des aliments*. 9 : 1 (3-18).
- King, N. L. 1987, *Meat Science*. 20 (25-37).
- Kopp, J. 1976, *Bulletin Technique C.R.Z.V. Theix I.N.R.A.* 24 (37-46).
- Kopp, J. 1977, 23ème congrès Européen des chercheurs en viande-MOSCOU. (9-13).
- Kopp, J. 1981, CPCA session "Additifs viandes". (1-13).
- Kopp, J. and Bonnet, M. 1987, *Advances in Meat Research*. 4 (163-185).
- Kovanen, V. and Suominen, H. 1989, *J. Appl. Physiol.* 58 (765-771).
- Kruggel, W. G. and Field, R. A. 1971, *Journal of food science*. 36 (1114-1117).
- Le Lous, M., Allain, J. C., Cohen-Solal, L., and Maroteaux, P. 1982, *Connective Tissue Research*. 9 (253-262).
- Le Lous, M., Allain, J. C., Cohen-Solal, L., and Maroteaux, P. 1983, *Connective tissue research*. 11 (199-206).
- Lebret, B., Listrat, A., and Clochefert, N. 1998, 44th International Congress of Meat Science and Technology. Barcelona, Spain. 2 (718-719).
- Lepetit, J., Grajales, A., and Favier, R. 2000, *Meat Science*. 54 (239-250).
- Lepetit, J. and Hamel, C. 1998, *Meat Science*. 49 : 2 (249-254).
- Lewis, G. J. and Purslow, P. P. 1989, *Meat Science*. 26 (255-269).
- Lewis, G. L., Purslow, P. P., and Rice, A. E. 1991, *Meat Science*. 30 (1-12).
- Light, N. and Champion, A. E. 1984, *Biochemistry Journal*. 219 (1017-1026).
- Light, N., Champion, A. E., Voyle, C., and Bailey, A. J. 1985, *Meat Science*. 13 (137-149).
- Listrat, A., Lethias, C., Hocquette, J. F., Renand, G., Méniéssier, F., Geay, Y., and Picard, B. 2000, *The Histochemical Journal*. 32 (349-356).
- Listrat, A., Picard, B., and Geay, Y. 1999, *Tissue and Cell*. 31 : 1 (17-27).
- Liu, A., Nishimura, T., and Takahashi, K. 1994, *Meat Science*. 38 : 2 (315-328).
- Liu, A., Nishimura, T., and Takahashi, K. 1995, *Meat Science*. 39 : 1 (135-142).
- Liu, A., Nishimura, T., and Takahashi, K. 1996, *Meat science*. 43 : 1 (43-49).
- Macfarlane, J. J. and Smith, M. B. 1978, *Meat Science*. 2 (219-225).
- McClain, P. E., Kuntz, E., and Pearson, A. M. 1969, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 17 : 3 (629-632).
- McCormick, R. J. 1994, *Meat Science*. 36 (79-91).
- McCormick, R. J. 1999, *Poultry science*. 78 (785-791).

- McCormick, R. J., Velleman, S. G., Zimmerman, S., and Carrino, D. A. 1995, 41st Annual International Congress of Meat Science and Technology . 2 (576-577).
- Morgan, F. R. 1960, J. Soc. Leather Trades Chem. 44 (170-182).
- Myers, J. C., Li, D., Bageris, A., Abraham, V., Dion, A. S., and Amenta, P. S. 1997, Am. J. Pathol. 151 (1729-1740).
- Nakamura, Y. N., Iwamoto, H., Ono, Y., Shiba, N., Nishimura, S., Tabata, S. 2003, Meat Science. 64 (43-50).
- Ngapo, T. M., Berge, P., Culioli, J., Dransfield, E., De Smet, S., and Claeys, E. 2002, Meat Science. 61 (91-102).
- Nishimura, T., Hattori, A., and Takahashi, K. 1994, 40th International Congress of Meat Science and Technology. The Hague, Netherlands.
- Nishimura, T., Hattori, A., and Takahashi, K. 1995, Meat Science. 39 : 1 (127-133).
- Nishimura, T., Hattori, A., and Takahashi, K. 1996a, Acta Anat. 155 (257-265).
- Nishimura, T., Hattori, A., and Takahashi, K. 1996c Meat science. 42 : 3 (251-260).
- Nishimura, T., Ojima, K., Liu, A., Hattori, A., and Takahashi, K. 1996b, Tissue & Cell. 28 : 5 (527-536).
- Nishiumi, T. 1999, Recent Res. Devel. Agricultural & Food Chem. 3 (159-179).
- Nishiumi, T., Kunishima, R., Nishimura, T., Yoshida, S. 1995, Anim. Science and Technology. 66 : 4 (341-348).
- Ohtani, O., Ushiki, T., Taguchi, T., and Kikuta, A. 1988, Method. Arch. Histol. Cytol. 51 : 3 (249-261).
- Palka, K. 1999, Meat Science. 53 (189-194).
- Pedersen, M. E., Kolset, S. O., Sorensen, T., and Eggen, K. H. 1999, Journal of agricultural and food chemistry. 47 : 4 (1445-1452).
- Petersen, J. S., Berge, P., Henckel, P., and Soerensen, M. T. 1997, Journal of Muscle Foods. 8 (47-61).
- Pfeiffer, N. E., Field, R. A., Varnall, T. R., Kruggel, W. G., Kaiser, I. I. 1972, J. food science. 37 (897-900).
- Pierson, C. J. and Fox, J. D. 1976, Journal of Animal Science. 43 : 6 (1206-1210).
- Purslow, P. P. and Trotter, J. A. 1994, Journal of Muscle Research and Cell Motility. 15 (299-308).
- Purslow, P. P. 1999, 45th International Congress of Meat Science and Technology. Yokohama. (210-219).
- Purslow, P. P. 2002 Comparative Biochemistry Physiology. 133 : Part A (947-966).
- Ramsbottom, J. M., Standine, E. J., and Koonz, C. H. 1945, Food Research. 10 (497-509).
- Reiser, K., Mc Cormick, R. J., and Rucker, R. B. 1992, The FASEB Journal. 6 (2439-2449).
- Renand, G., Picard, B., Touraille, C., Berge, P., and Lepetit, J. 2001, Meat Science. 59 (49-60).
- Rigby, B. J. 1963, Biochemica et Biophysica Acta. 75 (279-281).
- Rochdi, A., Bonnet, M., and Kopp, J. 1985, Sciences des aliments. 5 : 5 (293-298).
- Rowe, R. W. D. 1978, Meat Science. 2 (275-280).
- Sandrin, A., Beakou, A., Favier, R., and Lepetit, J. 2004, 50th International Congress of Meat Science and Technology. Helsinki, Finland. Session 1 (271-273).
- Sasaki, N. and Odajima, S. 1996, Journal of Biomechanics. 29 : 5 (655-658).
- Sharp, J. G. 1963, Journal of Science of Food and Agriculture. 14 (468-479).
- Shiba, N., Matsuzaki, M., and Tsuneishi, E. 2000, 46th International Congress of Meat Science and Technology. Argentine. Argentine. 2 (430-431).
- Shimokomaki, M., Elsdon, D. F., and Bailey, A. J. 1972, Journal of Food Science. 37 (892-896).
- Silver, F. H., Kato, Y. P., Ohno, M., and Wasserman, A. J. 1992, Journal of Long Term Effects of Medical Implants. 2 : 2-3 (165-198).
- Smith, G. C. and Carpenter, Z. L. 1970, Journal of Animal Science. 31 : 1 (697-706).
- Smith, S. H. and Judge, M. D. 1991, Journal of Animal Science. 69 (1989-1993).
- Snowden, J. McK., Bouton, P. E., and Harris, P. V. 1977, Journal of Food Science. 42 : 4 (890-894).
- Snowden, J. McK. and Weidemann, J. F. 1978, Meat science. 2 (1-18).
- Stanley, D.W., Brown, R.G. 1973, XIXème Réunion Européenne Chercheurs en Viande. Paris, B2 (231-248).
- Stanton, C. and Light, N. 1987, Meat science. 21 (249-265).
- Stanton, C. and Light, N. 1988, Meat science. 23 (179-199).
- Suresh, S. 1998, Fatigue of materials. Cambridge University Press.
- Taylor, R. G. and Koohmaraie, M. 1998, J. Anim. Sci. 76 (2811-2817).
- Tono-Oka, S., Tanase, S., Miike, T., and Tanaka, H. 1996, J. Histochem. Cytochem. 44 (907-908).
- Torrescano, G., Lujan, L., Sanchez-Escalante, A., Giménez, B., Roncalés, P., and Beltran, J. A. 2001, Poster, University of Zaragoza, dept. of animal production and food science, Spain.
- Torrescano, G., Sanchez, A., and Roncales, P. Beltran J. A. 2000, 46th International Congress of Meat Science and Technology. Argentine. Argentine. 2 (428-429).
- Wiederhorn, N. M. and Reardon, G. V. 1952, Journal of Polymer Science. 9 : 4 (315-325).
- Wiederhorn, N. M., Reardon, G. V., and Browne, A. R. 1953, J. Am. Laether Chemists Association, *In*: Structure of collagen. 48 (7-20).
- Young, O. A., Braggins, T. J., and Barker, G. J. 1994, Meat Science. 37 (297-303).

Communications orales

Session 1

VARIABILITE GENETIQUE DE CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DU MUSCLE CHEZ DES TAURILLONS CHAROLAIS.

YOUSSAO A.K.I.¹, RENAND G.¹, PICARD B.², JURY C.², BERGE P.³

¹ INRA, Station de génétique quantitative et appliquée, 78 352 Jouy-en-josas Cedex, France.

² INRA, Unité de recherches sur les herbivores, 63 122 St-Genès-Champanelle, France.

³ INRA, Station de recherches sur la viande, 63 122 St-Genès-Champanelle, France.

Introduction

Les caractéristiques du muscle jouent un rôle fondamental du fait de leurs relations avec les qualités de la viande (Touraille, 1994). Chez le bovin, il est reconnu que les caractéristiques de la viande sont fortement influencées par le type génétique, le sexe, l'âge à l'abattage et les conditions d'élevage (Monin, 1991). Dans les programmes d'amélioration génétique des aptitudes bouchères, la sélection se focalise principalement sur la vitesse de croissance et si possible sur la teneur en muscle. Quant aux qualités de la viande elles se heurtent pour l'instant à l'absence de prédicateur mesurable en abattoir et surtout du manque d'incitation économique réelle à leur amélioration alors qu'il a été montré que certaines caractéristiques du muscle présentent des relations phénotypiques significatives avec ces qualités de la viande (Renand et al. 2001). Au niveau génétique, après une première étude sur des taurillons Limousins (Renand et al., 1995), l'objectif de ce travail est d'étudier le déterminisme génétique des caractéristiques biologiques du muscle chez des taurillons Charolais et d'estimer leurs corrélations génétiques avec les caractères de production.

Matériel et méthodes

L'étude de la variabilité des caractéristiques de la carcasse et du muscle a été réalisée sur 377 taurillons de race charolaise, issus de 60 taureaux de 1988 à 1994 et élevés sur le domaine expérimental de Bourges (Cher). Au moment de leur naissance, leurs mères étaient âgées de 3 à 9 ans. Les naissances étaient groupées de janvier à avril et le sevrage a été fait à 32 semaines d'âge. Après une période d'adaptation de quatre semaines, ces taurillons ont été engraisés avec un aliment complet condensé et distribué *ad libitum*. A la fin de l'engraissement, ils ont été abattus à 15 ou à 19 mois. A l'abattage, le rendement de la carcasse a été d'abord calculé et les pourcentages de muscle et de tissus adipeux de la carcasse ont ensuite été estimés à partir de la dissection de la 6^e côte et la pesée des gras internes (Robelin et Geay, 1975).

Les caractéristiques biochimiques du muscle ont été mesurées sur le *Longissimus dorsi* (LD) au niveau de la 6^e côte. Les teneurs en lipides (Arneth, 1972), en fer héminique (Hornsey, 1956) ont été mesurées. Les teneurs en collagène total et en collagène insoluble ont été déterminées par dosage de l'hydroxyproline (Bonnet et Kopp, 1984). L'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) caractérisant le métabolisme glycolytique et celle de l'isocitrate déshydrogénase (ICDH) caractérisant le métabolisme oxydatif ont été respectivement déterminées selon Ansay (1974) et Briand et al. (1981). La teneur en isoforme de type I (contraction lente) de la myosine a été obtenue par la technique ELISA (Picard et al., 1994).

Pour l'analyse des données, un modèle mixte a été ajusté aux données. Il comprend les effets fixes de la campagne de naissance (CN), de l'âge de la mère au vêlage (AV) et de la gemellité (G) et l'effet aléatoire de l'animal (a). La régression (β) sur l'âge à l'abattage (A) a été ajoutée comme co-variable. Le modèle mixte utilisé se présente sous la forme : $Y_{ijklm} = \mu + CN_i + AV_j + G_k + \beta A_{ijkn} + a_{ijkn} + e_{ijkn}$.

Les composantes de la variance et des covariances ont été estimées par la méthode REML (Restricted Maximum Likelihood Estimation) à l'aide du logiciel VCE4.2.5 (Groeneveld, 1998) qui utilise l'algorithme EM (Expectation Maximisation). Elles ont permis de calculer les paramètres génétiques : coefficients d'héritabilité et de corrélations génétiques.

Résultats et discussion

L'héritabilité et les corrélations génétiques des caractéristiques du muscle sont données au tableau 1. Les coefficients d'héritabilité sont assez élevés pour les teneurs en hydroxyproline et en lipides intramusculaires et surtout pour la teneur en fer héminique. La solubilité du collagène et les caractéristiques des fibres musculaires présentent des coefficients d'héritabilité plus faibles. Dans la littérature il n'existe que peu d'estimations de ces caractéristiques musculaires, si ce n'est pour la teneur en lipides intramusculaires dont l'héritabilité est assez élevée en général (Renand, 1988, Gregory et al., 1995, Aass, 1996, Reverter et al., 2000).

L'activité oxydative de l'ICDH est étroitement associée génétiquement à la teneur en myosine lente et opposée à l'activité du LDH, traduisant l'origine génétique de la proportion des différents types de fibres musculaires. Les mêmes tendances ont été observées par Renand et al. (1995). Il apparaît que les teneurs en lipides intramusculaires et en fer héminique sont positivement corrélées avec les fibres lentes oxydatives et négativement avec les fibres glycolytiques. La teneur en lipides intramusculaires est aussi corrélée positivement avec la teneur en collagène et négativement avec la solubilité du collagène, alors que ces deux caractéristiques sont génétiquement indépendantes l'une de l'autre.

Tableau 1 : Héritabilité (en diagonale) et corrélations génétiques des caractéristiques du muscle et de la carcasse.

	Hydroxy- proline	Solubilité du Collagène	Lipides	Fer Héminique	ICDH	Myosine I	LDH
Hydroxyproline	0,34						
Solubilité Collagène	0,08	0,17					
Lipides	0,66	-0,85	0,32				
Fer Héminique	-0,03	-0,37	0,51	0,58			
ICDH	-0,36	0,05	0,27	0,68	0,21		
Myosine I	-0,34	-0,58	0,23	0,23	0,96	0,25	
LDH	0,26	-0,29	-0,61	-0,57	-0,48	-0,15	0,06
Rendement	-0,11	0,51	-0,39	-0,45	-0,18	0,02	0,43
Poids Muscle	-0,19	0,82	-0,59	-0,59	-0,16	-0,20	0,14
% Dépôt Adipeux	0,13	-0,90	0,62	0,55	0,05	0,16	0,03

ICDH : isocitrate déshydrogénase ; LDH : Lactate déshydrogénase.

Par rapport aux caractéristiques de la carcasse, le rendement et le poids de muscles dans la carcasse sont génétiquement associés à une plus grande solubilité du collagène et à une activité glycolytique plus intense et sont opposés aux teneurs en lipides intramusculaires et en fer héminique et à l'activité oxydative des fibres musculaires. A l'opposé, le pourcentage de dépôt adipeux de la carcasse est génétiquement associé aux teneurs en lipides intramusculaires et en fer héminique. Des corrélations génétiques positives, comprises entre $rg = 0,20$ et $rg = 0,65$, ont également été estimées entre l'adiposité des carcasses et la teneur en lipides intramusculaires par Gregory et al., 1995, Aass, 1996, Reverter et al., 2000.

Conclusion

Les résultats issus de cette étude montrent que la plupart des caractéristiques musculaires mesurées sont moyennement héritables, avec la teneur en fer héminique qui est fortement héritable, est sont susceptibles de répondre à une sélection si leurs mesures sont disponibles. Ces caractéristiques musculaires apparaissent assez fortement corrélées avec les caractéristiques de la carcasse : le pourcentage de dépôt adipeux de la carcasse est fortement lié aux teneurs en lipides et en fer et le rendement en carcasse et le poids de muscles sont génétiquement associés à la solubilité du collagène et opposés aux teneurs en lipides et en fer. Ces relations génétiques entre les caractéristiques du muscle et celles de la carcasse montrent qu'une sélection en faveur de la croissance du muscle au dépend des dépôts adipeux se traduirait par une diminution des teneurs en lipides et en pigments de la viande, par une solubilité accrue du collagène et une tendance vers des fibres musculaires plus glycolytiques et moins oxydatives.

Références bibliographiques

- Aass, L. 1996. *Livest. Prod. Sci.*, 46, 1-12.
 Ansay M., 1974. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 14, 471-486.
 Arneith W., 1972. *Fleischwirtsch.*, 52, 1455-1458.
 Bonnet M., Kopp J., 1984. *Cahier Tech. INRA*, 5, 19-30.
 Briand M., Talmant A., Briant Y., Monin G., Durand R., 1981. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46, 347-365.
 Groeneveld, 1998. REML VCE, version 4.2, User's guide. Federal Reseach Center of Agricu, Mariensee, Germany.
 Gregory K.E., Cundiff L.V., Koch R.M., 1995. *J. Anim. Sci.*, 73, 1920-1926.
 Hornsey, H.C., 1956. *J. Sci. Food Agric.*, 7, 534-540.
 Monin G., 1991. *Prod. Anim.*, 4, 151-160.
 Picard B., Leger J., Robelin J., 1994. *Meat science*, 36, 333-343.
 Renand G., 1988. *INRA Prod. Anim.*, 1, 115-121.
 Renand G., Jurie C., Robelin J., Picard B., Geay Y., Ménissier F., 1995. *Genet. Sel. Evol.*, 27, 287-298.
 Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. *Meat Sci.*, 59, 49-60.
 Reverter A., Johnston D.J., Graser H.U., Wolcott M.L., Upton W.H., 2000. *J. Anim. Sci.*, 78, 1786-1795.
 Robelin J., Geay Y., 1975. *Ann. Zootech.*, 24, 391-402.
 Touraille C., 1994. *Renc. Rech. Ruminants*, 1, 169-176.

ETUDE DE LA VARIABILITE DE LA QUALITE DE LA VIANDE DE PORC PAR ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

LEROY B., ETIENNE G., CHINA B., KORSACK N., DAUBE G., CLINQUART A.

**Département des Sciences des Denrées alimentaires, Faculté de Médecine vétérinaire,
Université de Liège, Sart Tilman Bât. B43bis, 4000 Liège (BE).**

Introduction

La qualité de la viande de porc dépend de nombreux facteurs tels que le génotype halothane et les conditions pré-abattage (mise à jeun, transport, délai d'attente, etc.). L'étude expérimentale de l'influence de ces facteurs ne prend en compte le plus souvent qu'un seul ou quelques-uns au maximum de ces facteurs alors que, en pratique, c'est l'ensemble de ces facteurs qui détermine la qualité du produit.

L'objectif de ce travail est d'étudier, dans les conditions réelles de production, la variabilité de la qualité technologique, organoleptique et microbiologique de la viande de porc et d'objectiver les relations qui peuvent exister entre les variables évaluées.

Matériel et Méthodes

Au cours d'une année, 264 porcs ont été abattus au sein de 5 abattoirs de Wallonie. Près de 80% des porcs provenaient de 4 filières de production porcine distinctes ; les 20% restants étaient issus de la production standard. Le pH45 et la conductivité électrique (Cond45) ont été mesurés 45±5 min *post mortem* dans le muscle Long dorsal entre les apophyses épineuses de la dernière et de l'avant-dernière vertèbre dorsale. Le pH45 a été mesuré au moyen d'une électrode combinée (Ingold réf 104063123) associée à un pH-mètre (Knick 913). La Cond45 a été mesurée à l'aide d'une sonde spécifique associée au P.Q.M. (Pork Quality Meter, Intek). Le poids des abats blancs a été mesuré à l'aide d'une balance électronique suspendue (Kern HCB 20K50). Le poids des carcasses chaudes a été mesuré avant l'étape de refroidissement rapide. Le rapport poids des abats blancs sur poids de carcasse chaude a été calculé afin de rendre compte du respect ou non de la mise à jeun des animaux. Une tranche du muscle Long dorsal, de 2,5 cm d'épaisseur, a été prélevée 24 h *post mortem* afin de mesurer la couleur (CIE L*a*b*), la tendreté (Tend5) et les pertes de jus à la cuisson. La couleur a été mesurée à l'aide d'un spectrocolorimètre Hunter Labscan II qui permet d'objectiver la luminosité (L*) et la teinte (a* et b*). La force maximale appliquée lors du cisaillement d'un échantillon de viande cuite a été mesurée 5 j *post mortem* au moyen d'une cellule de Warner-Bratzler montée sur un banc de traction Lloyd LR5K. La perte relative de poids après cuisson (50 min, bain-marie à 75°C) a permis d'estimer les pertes de jus à la cuisson. Le génotype halothane a été déterminé par technique PCR selon la méthode décrite par Nakajima *et al.* (1996). Des écouvillonnages de carcasses ont été réalisés en vue du dénombrement des germes totaux aérobies mésophiles et des *E. coli*, respectivement selon les méthodes NF-V-08-051 et AFNOR SDP-07/1-07/93 « Rapid E. coli 2 ».

Les relations entre les variables mesurées ont été évaluées par analyse en composantes principales (PCA), analyse multivariée exploratoire qui permet de visualiser de manière synthétique de telles relations. Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica.

Résultats et discussion

Tableau 1 - Variables étudiées + abréviations (*Abrév.*) utilisées dans les figures 1 et 2 ; nombre d'échantillons (*n*) ; moyenne (*Moy.*) ; écart-type (*Ecart-t.*) ; valeurs minimale (*Min.*), médiane (*Méd.*) et maximale (*Max.*).

<i>Variables</i>	<i>Abrév.</i>	<i>n</i>	<i>Moy.</i>	<i>ECART-T.</i>	<i>Min.</i>	<i>Méd.</i>	<i>MAX.</i>
Poids carcasse chaude (kg)	PoidsCa	264	93,7	9,6	64,2	93,4	122,3
Rapport poids abats blancs / poids carcasse chaude	Rapport	264	0,074	0,020	0,036	0,070	0,100
pH 45 min	Ph45	264	6,02	0,35	5,30	6,07	6,80
Conductivité électrique 45 min (mS/cm)	Cond45	264	5,0	2,1	3,1	4,4	22,4
CIE L* (%)	L*	264	54,3	4,5	41,6	53,5	66,4
CIE a*	a*	264	6,3	2,0	0,9	6,2	12,3
CIE b*	b*	264	15,5	1,8	10,5	15,4	20,1
Force maximale de cisaillement (N)	Tend5	264	37,1	8,2	21,0	35,8	71,7
Pertes de jus à la cuisson (%)	PerteCui	264	30,0	2,6	20,2	30,0	39,2
Germes totaux (ufc/cm ²)	GermesTo	264	4.236	10.762	6,7	1.266	100.000
<i>E.coli</i> (ufc/cm ²)	E.coli	264	11,39	34,06	0,17	1,00	366,7

Le **tableau 1** présente les 11 variables prises en compte dans la PCA. Il permet de se rendre compte de la variation des paramètres de qualité évalués. Quatre composantes principales d'importance décroissante et non corrélées ont été extraites de cette analyse. Les composantes principales sont des axes perpendiculaires correspondant aux directions dans lesquelles la variabilité est la plus grande. La première composante a permis d'expliquer 28% de la variabilité ; la composante 2, 14% ; la composante 3, 12% et la quatrième composante, 10%. Ces 4 composantes principales ont permis d'expliquer 63% de la variabilité totale.

La **figure 1** représente les 11 variables initiales dans le plan formé par les axes z1 (composante principale 1) et z2 (composante principale 2). Les coordonnées de ces variables sont les corrélations des variables avec z1 et z2. La composante 1 a présenté une corrélation élevée positive avec le pH45 (0,80) ; une corrélation négative élevée avec la luminosité L* (-0,76) et le facteur b* (-0,79). Une corrélation élevée a été observée entre la composante 2 et *E.coli*. La composante 3 a quant à elle été corrélée avec le rapport poids abats blancs sur poids de carcasse chaude. Enfin, la composante 4 a été fortement corrélée avec la force maximale de cisaillement.

La **figure 2** représente, dans le plan formé par z1 et z2, les échantillons classés selon leur génotype halothane. Compte tenu de l'interprétation qui peut être faite du premier axe, les échantillons situés à droite de l'axe z1 sont caractérisés par un pH45 élevé et une luminosité L* faible tandis que le groupe des points situés à gauche de l'axe sont caractérisés par un pH45 faible et une luminosité L* élevée. De même, les échantillons situés dans la partie négative de l'axe z2 sont caractérisés par un dénombrement des *E.coli* plus important. Le groupe correspondant aux porcs sensibles au stress, c.-à-d. de génotype nn, est caractérisé par un pH45 plus faible et une viande plus pâle comparativement au groupe de porcs résistants au stress, c.-à-d. de génotypes NN et Nn.

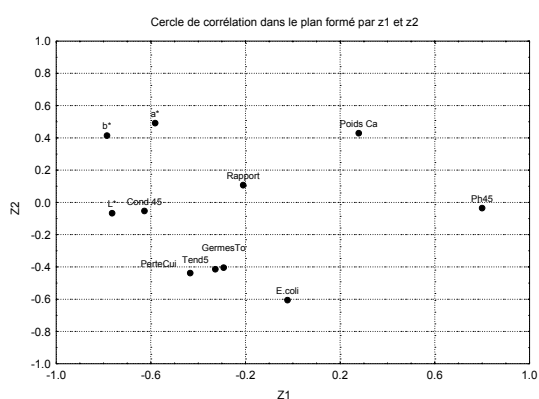


Figure 1 : Représentation des variables relatives à la qualité de la viande dans le plan formé par les 1^{ère} et 2^{ème} composantes principales.

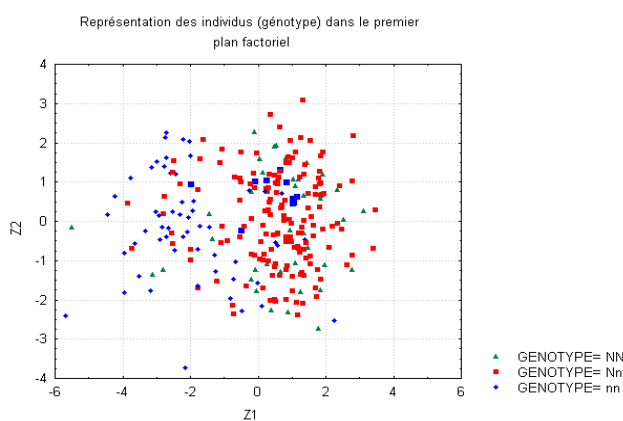


Figure 2 : Représentation des individus dans le plan formé par les 1^{ère} et 2^{ème} composantes principales, en fonction du génotype halothane.

Conclusions

L'analyse en composantes principales a permis de mettre en évidence des groupes de variables et de visualiser les relations qui peuvent exister entre ces variables. La première composante principale est corrélée aux variables relatives à la qualité technologique et organoleptique de la viande. Elle met en opposition le pH45 d'une part et les paramètres L*, b* et Cond45 d'autre part. La deuxième composante principale peut être considérée comme un axe de qualité microbologique. L'analyse en composantes principales a également permis de mettre en évidence des groupes d'individus. A titre d'exemple, les génotypes halothane ont pu être différenciés sur ce type de représentation de la variabilité de la qualité de la viande.

Référence bibliographique

Nakajima E., Matsumoto T., Yamada R., Kawakami K; Tadeka K., Ohnishi A., Komatsu M., 1996. J. Anim. Sci., 74, 2904-2906.

Remerciements

Cette étude a été financée par la Direction Qualité des Produits, Direction Générale de l'Agriculture, Ministère de la Région Wallonne, Belgique.

PROTEINES SARCOPLASMIQUES ET CARACTERISATION PROTEOMIQUE DES TYPES MUSCULAIRES OVIN.

HAMELIN M.¹, SAYD T.¹, CHAMBON C.², MONIN G.¹, LAVILLE E.¹

¹ Station de Recherche sur la Viande – BPM, INRA, 63122 St Genès-Champanelle, France.

² Station de Recherche sur la Viande – Plate-forme protéomique, INRA, 63122 St Genès-Champanelle, France.

Introduction.

Le tissu musculaire est composé de fibres musculaires constituées de protéines myofibrillaires (Actine, Myosine,...), de protéines et glycoprotéines stromales (Collagènes...) et de protéines sarcoplasmiques (Kinases, HSP,...). Chez les mammifères, trois principaux types de fibres sont généralement décrits. Ce sont les types I (rouge lent oxydatif), IIA (rouge rapide oxydo-glycolytique) et IIB (blanc rapide glycolytique). Cette typologie repose sur un polymorphisme des chaînes lourdes de la myosine, protéine myofibrillaire qui représente environ 25% des protéines musculaires totales. Or jusqu'à présent l'étude des protéines sarcoplasmiques, constituant environ 30% des protéines totales, a été peu développée. C'est pourtant dans cette fraction que se trouvent la majorité des protéines du métabolisme et des voies de transduction du signal. Son étude approfondie permettrait de mieux caractériser les différents types musculaires. Grâce à l'évolution des techniques d'électrophorèse bidimensionnelle associée à la généralisation de la spectrométrie de masse, nous sommes à même de séparer, quantifier et identifier simultanément un grand nombre de ces protéines dans le muscle ovin.

Matériel et Méthodes.

Nous avons réalisé une étude comparative d'un muscle Rouge Rapide *Semimembranosus* (SM) et d'un muscle Blanc Rapide *Tensor Fascia Lata* (TFL) en gels d'électrophorèse bidimensionnelle sur cinq animaux.

Les agneaux sont issus d'un croisement F2 des races Texel Belge et Romanov. Ils sont abattus à l'âge de trois mois, les échantillons musculaires sont prélevés 30 minutes *post mortem* et congelés dans l'azote liquide.

L'étude est axée sur la fraction sarcoplasmique du protéome musculaire. Les protéines sarcoplasmiques sont extraites selon une technique de fractionnement cellulaire dérivée de celle de Pietrzak et al. (1997). Cette technique nous permet d'individualiser les différentes fractions protéiques et d'augmenter le pouvoir de résolution de l'électrophorèse bidimensionnelle (cf. Fig.1). Par cette méthode nous sommes à même d'analyser deux fois plus de protéines que par l'étude de l'extrait protéique total, d'accéder aux protéines à faible nombre de copies et donc d'analyser plus finement le protéome sarcoplasmique.

Cent dix microgrammes de protéines sarcoplasmiques sont séparés en première dimension sur des IPG Strip pH5-8 17cm (BioRad). La seconde dimension SDS-PAGE a été réalisée en gel dénaturant à 12% d'acrylamide. Les gels, réalisés en triplicat pour chaque animal, sont colorés à l'argent (Yan et al. 2000) et analysés à l'aide du logiciel PDQuest7.1. Les protéines sont considérées comme différentiellement exprimées lorsque l'intensité varie d'un facteur supérieur ou égal à 2, nous nous

sommes appuyé sur le logiciel SAM pour cette analyse.

L'identification des protéines d'intérêt sera obtenue par spectrométrie de masse selon la technique Maldi-TOF.

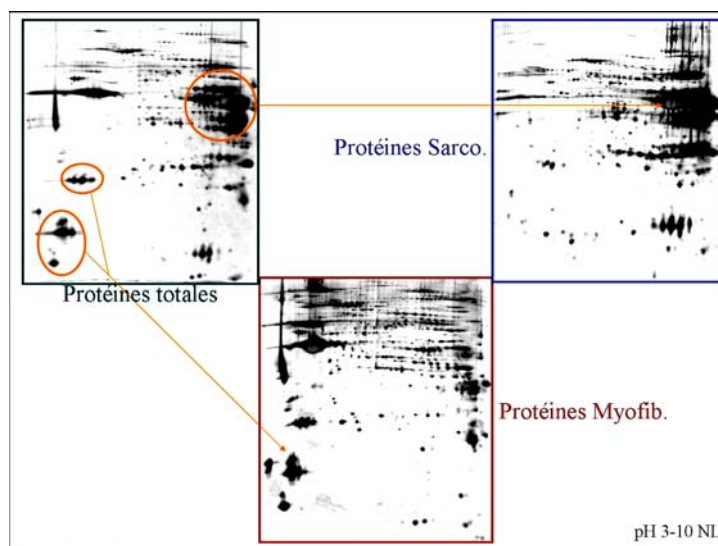


Fig.1. Migration en électrophorèse 2D (strips pH3-10 non linéaire) des différentes fractions obtenues: extrait total (vert), fraction myofibrillaire (rouge) fraction sarcoplasmique (bleu).

Résultats.

Nous avons pu définir et quantifier environ 900 spots sur l'ensemble des gels. Nous avons pu mettre en évidence 55 spots différentiellement exprimés entre les deux types musculaires. Dans la figure 2 sont présentées, pour exemple, en ligne pointillée trois protéines surexprimées dans le TFL et en vert trois protéines surexprimées dans le SM. La figure 3 présente les quantifications obtenues pour les spots SSP 1012 et SSP 2004, dont l'expression est respectivement 24 fois supérieure dans le TFL et 3 fois supérieure dans le SM

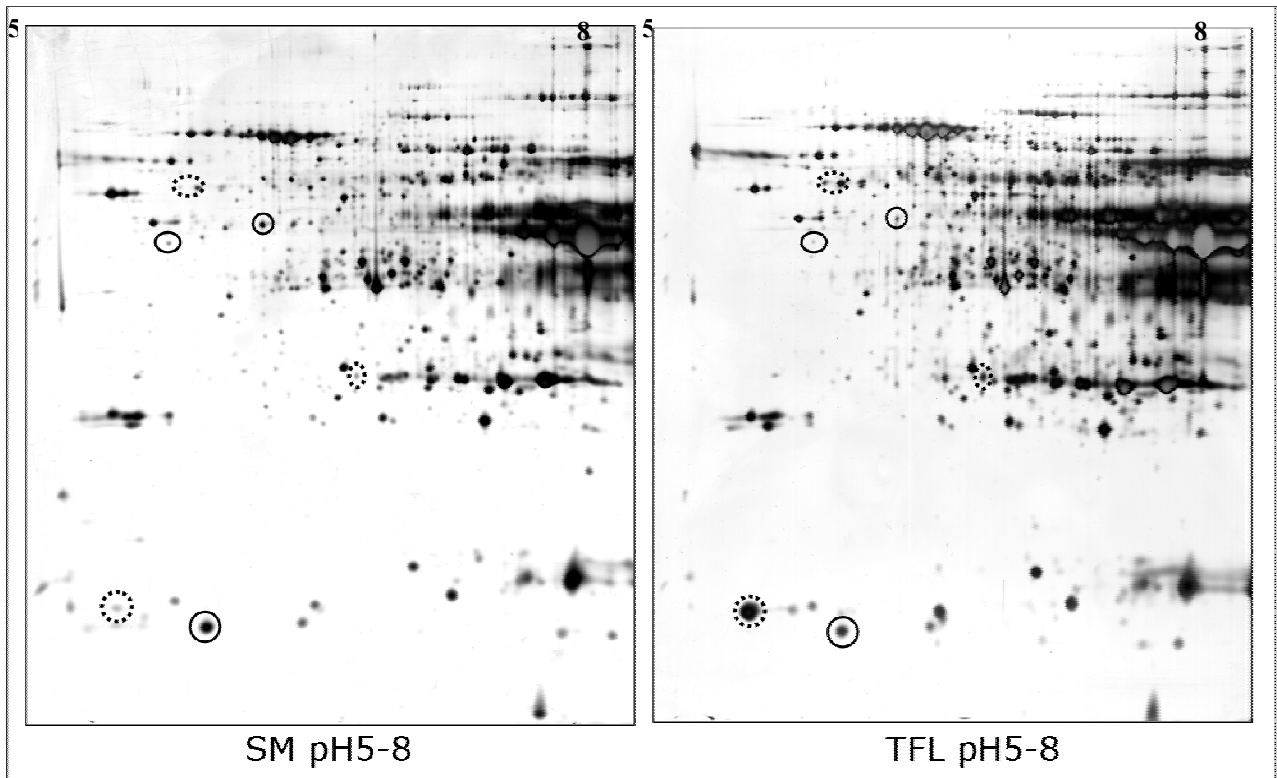


Fig.2. Electrophorèses bidimensionnelles des fractions sarcoplasmiques du SM et du TFL

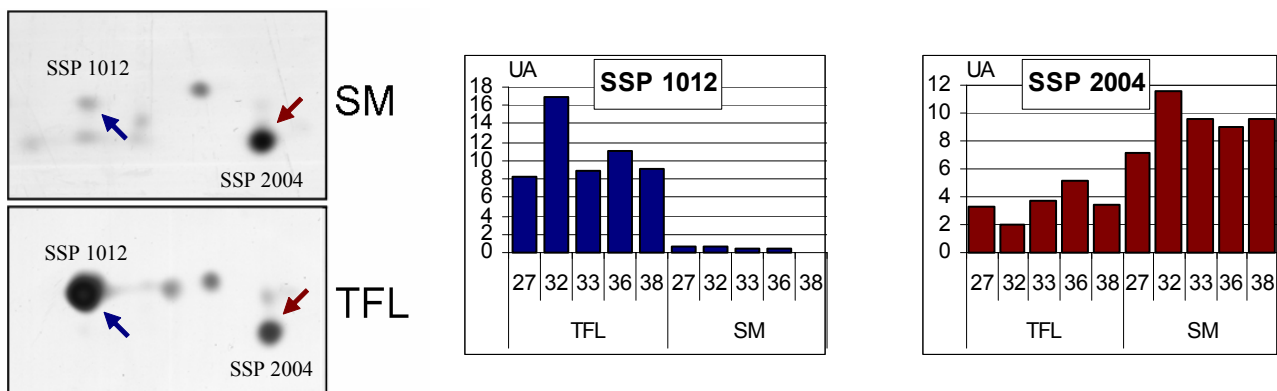


Fig.3. Quantification de deux spots protéiques différemment exprimés.

Discussion & Perspectives.

Ces premiers résultats montrent qu'il est possible de caractériser le type musculaire, Rouge Rapide ou Blanc Rapide, en s'appuyant sur la carte bidimensionnelle des protéines sarcoplasmiques. Pour compléter la caractérisation, l'étude du type musculaire Rouge Lent est en cours sur le muscle *Vastus Medialis*. Par ailleurs, les protéines différemment exprimées sont en cours d'identification par spectrométrie de masse.

Références.

- YAN J. X., WAIT R., BERKELMAN T., HARRY R. A., WESTBROOK J. A., WHEELER C. H., DUNN M. J., 2000. Electrophoresis. 21, 3666-3672.
- PIETRZAK, M., GREASER, M. L., SOSNICKI, A. A., 1997. Journal of Animal Science. 75, 2106-2116

Remerciements.

Nous tenons à remercier Bruno Meunier pour son aide dans le maniement du logiciel SAM

INFLUENCE DE L'EXERCICE PHYSIQUE AU COURS DE L'ENGRAISSEMENT SUR LE METABOLISME MUSCULAIRE CHEZ LE LAPIN

GONDRET F.¹, EL RAMOUZ R.², FERNANDEZ X.², COMBES S.³

¹INRA-Agrocampus, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles; ²Laboratoire de Zootechnie et Qualité des Produits Animaux, ENSAT, BP 107, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, ³INRA-Station de Recherches Cunicoles, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan cedex

Introduction

Les caractéristiques histologiques, biochimiques et métaboliques des muscles lors de l'abattage de l'animal conditionnent en partie la transformation *post-mortem* en viande et les qualités technologiques et organoleptiques des produits. Elles dépendent du patrimoine génétique des animaux, mais aussi des facteurs d'élevage pré- et post-nataux. Les systèmes d'élevage alternatifs impliquent généralement une augmentation de l'espace alloué aux animaux et en particulier une distance accrue entre les aires de repos, d'abreuvement, et de repas. De ce fait, il est important de déterminer si l'exercice physique durant la période d'engraissement peut modifier les caractéristiques musculaires des animaux. La plupart des études chez les mammifères producteurs de viande concerne des animaux entraînés à courir sur un tapis roulant, et démontre une augmentation du métabolisme oxydatif musculaire par exemple chez des porcs pratiquant un exercice physique régulier (Essen-Gustavsson et al., 1983 ; McAllister et al., 1997 ; Petersen et al., 1998). Notre objectif est d'évaluer les modifications des caractéristiques musculaires induites par un exercice physique répété (saut) au cours de l'engraissement chez le Lapin. L'influence de l'exercice sur la croissance et la qualité de la carcasse et de la viande est présentée dans un autre article.

Matériels et méthodes

Le lendemain du sevrage (35 jours), des lapins de souche Hyplus PS 39 x INRA 1067 ont été répartis en 2 lots expérimentaux. Les lapins du groupe sédentaire (SED, n = 9) sont placés individuellement dans des cages de surface réduite (0.10 m²), de façon à limiter les possibilités de déplacement. Les lapins du groupe exercice (EXE, n = 10) sont élevés collectivement dans une cage géante (1.32 m²), munie de deux obstacles verticaux. Ces obstacles sont placés entre les sources d'alimentation et d'abreuvement, et leur hauteur est augmentée 2 fois au cours de la période d'étude, proportionnellement au développement des lapins. Une fréquence de 98 sauts par 24 h a été enregistrée pour les lapins EXE à 63 jours d'âge. Ils sont abattus à 72 jours d'âge après électroanesthésie, sans mise à jeun préalable. Deux muscles de la cuisse, le *semimembraneux* (SM) et le *biceps femoris* (BF), sont prélevés 5 min. après la saignée. Les échantillons sont congelés dans l'azote liquide, et conservés à -80°C. Le lendemain de l'abattage, le gras périrénal est pesé, comme indicateur de l'adiposité générale de l'animal. Le pH ultime est mesuré dans le muscle BF. Les activités de la β -hydroxyacyl-CoA déshydrogénase (HAD, enzyme clé de la β -oxydation des acides gras), de la citrate synthase (CS, enzyme du cycle de Krebs), et de la lactate déshydrogénase (LDH, enzyme représentative de la glycolyse anaérobie) sont mesurées par spectrophotométrie à partir d'homogénats musculaires. La teneur en lipides totaux est mesurée dans les muscles SM et BF, après extraction au chloroforme/méthanol. Le potentiel glycolytique (Monin et Sellier, 1985) est calculé dans le muscle BF. Les comparaisons de moyennes entre les 2 lots ont été réalisées en utilisant le test *t* de Student. Les données présentées sont les moyennes par lot.

Résultats et discussion

L'exercice physique n'a pas d'influence sur le gain moyen quotidien calculé entre le sevrage et l'abattage (46.4 g/j en moyenne dans les 2 lots). A l'abattage, l'adiposité corporelle (gras périrénal) est similaire dans les 2 lots (Tableau 1). A l'inverse, les activités des enzymes mitochondriales HAD et CS sont augmentées, respectivement de 27% et de 20%, dans le muscle SM des lapins EXE par rapport aux lapins SED, alors que l'activité de la LDH tend à diminuer (-6%) dans le lot EXE par rapport au lot SED (Tableau 1). La part relative de l'activité glycolytique par rapport à la voie oxydative est ainsi diminuée de 19% ($P < 0,05$) chez les lapins EXE par rapport aux animaux SED. Dans le muscle BF, les activités enzymatiques oxydatives tendent également à être plus élevées chez les lapins EXE (+16% en moyenne, $P < 0,10$), et l'équilibre des voies métaboliques s'établit en faveur d'un métabolisme plus oxydatif dans le lot EXE par rapport au lot SED. Ces résultats valident le modèle d'exercice physique en particulier pour le muscle SM, en démontrant une orientation du métabolisme musculaire vers une meilleure aptitude à oxyder les acides gras (rapport HAD/CS augmenté de 7% chez les lapins EXE, $P = 0,02$). Ils sont en accord avec les études indiquant une élévation des activités enzymatiques oxydatives chez des porcs entraînés à courir sur tapis roulant par rapport à des congénères sédentaires (Essen-Gustavsson et al., 1983, 1988 ; McAllister et al., 1997). Les effets de sauts répétés au cours de la croissance sont moins connus. Une augmentation de la proportion relative des fibres de type IIA (oxydo-glycolytiques) au détriment des fibres de type I (oxydatives) et IIB (glycolytiques) a été rapportée chez le rat en croissance soumis à des sauts répétés de courte durée (Watt et al., 1982). Il est

clair que même dans le cas d'exercice d'intensité élevée, le métabolisme oxydatif joue un rôle dans la restauration des réserves lors des phases de récupération.

Tableau 1. Poids vif, adiposité corporelle, et caractéristiques métaboliques des muscles à l'abattage chez des lapins sédentaires (SED) ou pratiquant un exercice physique (EXE)

	SED	EXE	ETR	Statistiques
Poids d'abattage, g	2441	2507	240	NS
Proportion de gras périrénal, %	1.07	0.92	0.33	NS
Semimembraneux				
Teneur en lipides, g/100g				
Activités enzymatiques, $\mu\text{mole}/\text{min}/\text{g}$ de muscle	1.59	1.86	0.46	NS
β -Hydroxyacyl-CoA déshydrogénase	1.91	2.43	0.45	*
Citrate synthase (CS)	9.40	11.26	2.10	†
Lactate déshydrogénase (LDH)	1426	1339	108	†
Rapport LDH/CS	154	125	25	*
Biceps femoris				
Teneur en lipides, g/100g	1.87	2.08	0.48	NS
Activités enzymatiques, $\mu\text{mole}/\text{min}/\text{g}$ de muscle				
Hydroxyacyl-CoA déshydrogénase	1.93	2.27	0.54	†
Citrate synthase (CS)	8.52	9.81	1.65	†
Lactate déshydrogénase (LDH)	1096	1070	133	NS
Rapport LDH/CS	131	112	23	†
Potentiel glycolytique, $\mu\text{mol Eq lactate}/\text{g}$	93.4	97.5	15.1	NS
pH ultime	5.72	5.73	0.11	NS

** $P \leq 0.01$; ** $P \leq 0.05$; † $P \leq 0.10$; NS : $P > 0.10$.

Les teneurs en lipides intramusculaires à l'abattage dans les muscles SM et BF ne sont pas modifiées entre les 2 lots d'animaux. En accord avec nos résultats, Petersen et al. (1997) ne démontrent pas de variation de la teneur en lipides musculaires de porcs soumis à un exercice physique régulier. Il est admis que les lipides intramusculaires, et en particulier les triglycérides stockés dans les fibres musculaires, fournissent une part importante des acides gras oxydés lors de l'exercice (Smekal et al., 2003). Cependant, de nombreuses voies métaboliques (lipogenèse *de novo*, captation de lipides circulants) permettent généralement la restauration des réserves lipidiques du muscle après l'exercice. L'augmentation de l'oxydation des acides gras lors d'un exercice s'accompagne d'une épargne des réserves en glycogène musculaire, pouvant se traduire par une concentration en glycogène au repos plus élevée chez les individus entraînés par rapport à leurs congénères sédentaires (Essen-Gustavsson et al., 1988 chez le porc). Cependant, dans notre étude, le potentiel glycolytique du muscle BF et le pH mesuré 24 h *post-mortem* sont identiques dans les 2 lots. Une corrélation négative entre potentiel glycolytique et pH ultime est observée ($r = -0,64$, $P < 0,01$), comme habituellement rapportée (Monin et Sellier, 1985).

Conclusion

En dépit d'une orientation métabolique vers une meilleure aptitude du muscle à oxyder les acides gras chez les lapins pratiquant une activité physique régulière, la teneur en lipides et les indicateurs de la glycolyse *post-mortem* ne sont pas modifiés par rapport aux animaux sédentaires. Dans les systèmes d'élevage alternatifs, d'autres facteurs (présence de litière, niveaux alimentaires) peuvent interagir pour modifier la qualité de la viande.

Références

- Essen-Gustavsson B., Lindholm A., 1983. In. Proc 5th Int. Conf. Production Disease in Farm Animals, 356-362.
- Essen-Gustavsson B., Lundström K., Larsson G., Lindholm A., Nordin AC., Hansson I., Tornberg E., 1988. In. Proc. 34th IcoMST, 27-30.
- McAllister RM., Reiter BL., Amann JF., Laughlin MH., 1997. J. Appl. Physiol., 82, 1982-1868.
- Monin G., Sellier P., 1985. Meat Sci., 13, 49-63
- Petersen JS., Berge P., Henckel P., Sorensen MT., 1997. J. Muscle Food, 8, 47-61.
- Petersen JS., Henckel P., Oksbjerg N., Sorensen MT., 1998. Anim. Sci., 66, 432-438.
- Smekal G., von Duvillard SP., Pokan R., Tschann H., Baron R., Hofmann P., Wonih M., Bachl N., 2003. Nutrition, 19, 891-900.
- Watt PW., Kelly FJ., Goldspink DF., Goldspink G., 1982. J. Appl. Physiol. **53**, 1144-1151.

Remerciements

Les auteurs remercient F. Pontrucher pour la réalisation des dosages, ainsi que B Darce et le personnel de l'élevage de la SRC.

INFLUENCE DE L'ACTIVITE PHYSIQUE CHEZ LE LAPIN : CARACTERISTIQUE DE LA CARCASSE, DE LA VIANDE ET DU COMPLEXE TENDINO-OSSEUX

COMBES S.¹, MOUSSA M.², GONDRET F.³, DOUTRELOUX J.P.⁴, REMIGNON H.²

¹Station de Recherches Cunicoles, INRA Toulouse, BP 27, 31326 Castanet Tolosan

²Laboratoire de Zootechnie et Qualité des Produits Animaux, ENSAT, BP 107, 31326 Castanet-Tolosan

³INRA-Agrocampus, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

⁴UFR STAPS Université Paul Sabatier, 31062 Toulouse

Introduction

Lors de la transformation ou de la consommation de viande, les professionnels et les consommateurs rapportent un défaut de cohésion des muscles à l'os chez les espèces de petite taille. Ce manque de cohésion est souvent attribué au rajeunissement à l'abattage observé actuellement (0,5 et 1 jour par an respectivement chez le lapin et le poulet), et à la faible possibilité d'activité locomotrice permise aux animaux dans les conditions d'élevage intensif. Des expériences préalables (Ducomps *et al.*, 2003) ont permis de montrer qu'il était possible d'augmenter l'activité physique des lapins en les plaçant en grandes cages, équipées de deux obstacles séparant le point d'alimentation du point d'abreuvement. Cette augmentation de l'activité physique s'accompagnait d'une augmentation de la résistance du muscle à l'étirement et de la teneur en collagène totale. L'objectif de ce travail était d'étudier les effets de l'exercice physique (saut) sur la croissance et la qualité des carcasses des lapins et sur le comportement mécanique (étirement passif) de leur jonction tendino-osseuse.

Matériels et Méthodes

Un total de 125 lapins (Hyplus PS 39 X INRA 1067) élevés en 2 bandes à la Station de Recherches Cunicoles a été utilisé. Les animaux sevrés à 35 jours ont été et répartis dans 2 lots : sédentaire (SED) pour lequel les animaux ont été placés en cage individuelle (n=46), et exercice (EXE) où les animaux ont été placés en cage géante (n=9 cages). Les cages individuelles avaient une surface réduite (L=25 cm, l=42 cm, H=30 cm), dans lesquelles la possibilité de saut était exclue. Les cages géantes (L=213 cm, l=62 cm, hauteur de 80 cm) hébergeaient 10 lapins sevrés, et étaient équipées de 2 cloisons intérieures dont la hauteur a été fixée à 25 cm entre 35 et 49 j d'âge puis à 35 cm entre 50 et 70 j d'âge. A l'aide d'enregistrements vidéo, une fréquence de plus de 98 sauts par lapin sur le nyctémère a pu être calculée pour le lot EXE. Les animaux ont été pesés et leur consommation d'aliment a été évaluée toutes les semaines. Cinquante huit animaux d'une même bande ont été abattus à 70 jours d'âge. Après ressuage des carcasses, différents morceaux de découpe (avant, râble et arrière) ainsi que les dépôts adipeux périrénal et interscapulaire ont été pesés. Le pH ultime et la couleur (chromamètre Minolta) de la viande ont été mesurés au niveau de la cuisse (*biceps femoris*) et du muscle *longissimus lumborum* (LL). La capacité de rétention en eau de la viande après décongélation a été évaluée sur le muscle LL (Castellini *et al.*, 1998). Le comportement mécanique des 3 complexes tendino-osseux suivants a été déterminé : tendon d'achille - calcaneum, ligament rotulien - tibia et tendon du *semimembranosus proprius* (SMP)- tibia. Après cuisson à 85°C, les tests d'étirement passif ont été réalisés à l'aide d'une colonne de traction-compression (MTS). Les parties osseuses sont maintenues fixes, tandis que les extrémités des tendons préalablement refroidies à l'azote liquide sont pincées dans un mors mobile monté sur rotule et relié au capteur de force. La vitesse d'élongation est de 25 mm/min. Les paramètres retenus ont été : la force maximale (en N), la rigidité (pente du tracé élastique, en N/mm) et la déformation (rapport entre l'élongation en zone élastique et la taille initiale de l'échantillon).

Résultats et discussion

Tableau 1 : Performance de croissance des lapins du lot sédentaire (SED) et du lot exercice (EXE). Les valeurs correspondent aux moyennes, écart type résiduel (ETR)

	SED (n=46)	EXE (n=79)	ETR	Effet lot
Poids au sevrage 35j (g)	805	791	132	NS
Poids abattage 70j (g)	2445	2361	265	NS
GMQ 35-70j (g/j)	46,8	44,8	6,0	NS
Indice Consommation ¹ 35-70j	3,02	2,81	0,27	<0,05

¹ Mesuré sur n=46 cages pour le lot SED, et n=9 cages pour le lot EXE

Les lapins du lot EXE présentent une vitesse de croissance post-sevrage similaire à celle des lapins du lot SED, mais leur indice de consommation est amélioré (-7%, Tableau 1). Cette observation va à l'encontre des résultats précédemment obtenus dans les élevages en parc où l'on observe une détérioration de la vitesse de croissance, sans modification de l'indice de consommation (Combes et Lebas, 2003). Les lapins du lot EXE se distinguent par un rendement d'abattage qui tend à être supérieur (+0,68), une proportion d'arrière plus importante (+0,79) mais un rapport muscle sur os inférieur (-6%), par rapport aux lapins SED (Tableau 2). Dans notre étude, l'adiposité (gras périrénal et interscapulaire) n'est pas modifiée par le type de logement. Chez le lapin, l'augmentation de l'espace se traduit généralement par une augmentation

de la proportion des arrières et une diminution de l'adiposité des carcasses (Combes et Lebas, 2003), ce dernier point étant contraire aux résultats de la présente étude. En accord avec la bibliographie, ni le pHu des muscles BF ou LL, ni la capacité de rétention en eau du muscle LL ne sont modifiés par la pratique d'un exercice. La pratique du saut dans notre étude semble être responsable d'une augmentation de la pigmentation de la viande dans le muscle BF, probablement en relation avec une augmentation du métabolisme oxydatif du muscle.

Tableau 2 : Performance d'abattage et caractéristique de la viande des lapins du lot sédentaire (SED) et du lot exercice (EXE). Les valeurs correspondent aux moyennes, écart type résiduel (ETR)

	SED (n=27)	EXE (n=30)	ETR	Effet lot
Rendement carcasse froide (% du poids vif)	57,55	58,23	1,38	0,069
Adiposité (% carcasse froide)	2,18	2,36	0,52	NS
Avant (% carcasse froide)	33,30	33,84	1,16	0,089
Râble (% carcasse froide)	17,23	17,05	0,93	NS
Arrière (%carcasse froide)	30,21	31,00	1,16	0,014
Rapport muscle/os	5,69	5,34	0,39	0,002
Clarté (L*) BF	56,14	55,91	1,70	NS
Indice de rouge (a*) BF	3,70	5,02	1,31	0,001
Indice de jaune (b*) BF	3,68	4,44	1,22	0,023
pHu <i>longissimus lumborum</i> (LL)	5,66	5,68	0,03	0,028
pHu <i>biceps femoris</i> (BF)	5,77	5,79	0,07	NS
Capacité de rétention en eau du muscle (%) ¹	56,35	57,45	2,16	NS

¹ La capacité de rétention en eau a été mesurée sur 20 lapins par lot

La pratique répétée du saut au cours de la croissance chez le lapin modifie significativement le comportement mécanique du tendon d'Achille et du ligament rotulien, évalué après cuisson (Tableau 3). En effet, le tendon d'Achille et le ligament rotulien des lapins EXE présentent une rigidité supérieure (respectivement, +25% et +34 %) à celle observée chez le lapin SED. Chez les lapins EXE, le tendon d'Achille présente également une capacité de déformation élastique plus importante (+30 %), tandis que le tendon rotulien montre une force maximale de résistance à l'étirement plus élevée (+30%) que chez les lapins SED.

Tableau 3 : Force maximale, rigidité et déformation des 3 complexes tendino-osseux cuits à 85°C puis soumis à un test d'étirement passif. SED : lot sédentaire, EXE lot exercice, ETR écart type résiduel.

		SED (n=27)	EXE (n=30)	ETR	Effet lot
Tendon d'achille – calcaneum	Force maximale (N)	19,00	20,22	5,03	NS
	Rigidité (N/mm)	2,55	3,20	1,23	0,052
	Déformation	0,82	1,07	0,37	0,018
Ligament rotulien – tibia	force maximale (N)	19,93	25,39	7,68	0,010
	Rigidité (N/mm)	4,17	5,62	2,11	0,013
	Déformation	1,94	2,48	1,59	NS
Tendon SMP – tibia	Force maximale (N)	69,54	75,61	14,74	NS
	Rigidité (N/mm)	21,54	24,90	8,18	NS
	Déformation	1,18	1,45	1,02	NS

Conclusion

La pratique du saut de manière régulière pendant les 35 jours précédents l'abattage entraîne des modifications des caractéristiques des carcasses des lapins similaires (augmentation de la proportion des arrières, absence de variation du pHu) ou différentes (pas de modification de l'adiposité, forte augmentation de la pigmentation) de celles observées pour des lapins élevés dans les parcs de grande taille sans obligation de sauts. D'autres études sont nécessaires pour confirmer si ces différences reflètent réellement des modifications liées au saut. Cette étude suggère également pour la première fois, que la pratique d'un exercice physique régulier de type saut chez le lapin augmente la résistance des complexes tendino-osseux, ce qui serait favorable à la qualité des morceaux de découpe après cuisson.

Références

- Castellini C., Dal Bosco A., Bernardini M., Cyril H.W., 1998. *Meat Sci.*, 50, 153-161.
 Combes S., Lebas S., 2003. *10èmes Journ. Rech. Cunicole* Paris (France). 19-20 novembre, pp:185-200.
 Ducomps C., Mauriege P., Darche B., Combes S., Lebas F., Doutreloux J.P., 2003. *Acta Physiol. Scand.*, 178, 215-224.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Swider, M. Beaupuy, Mme Darche et le personnel de l'élevage de la SRC.

HYPERTROPHIE MUSCULAIRE : CONSEQUENCE POUR LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DU FILET DE POULET

BERRI C.¹, DEBUT M.¹, LE BIHAN-DUVAL E.¹, SANTE-LHOUTELLIER V.², HAJ HATTAB N.¹, JEHL N.³, JEGO Y.⁴, DUCLOS M.J.¹

INRA, ¹ Station de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, ² Station de Recherches sur la Viande, 63122 Saint-Genès-Champagnelle, ³ITAVI, 75008 Paris, ⁴Hubbard-Europe, 35 Châteaubourg.

Contexte et objectifs

Chez le poulet le métabolisme musculaire *post-mortem* est à la fois influencé par les caractéristiques génétiques des animaux et les conditions de pré-abattage. Ainsi, la sélection pour la croissance et/ou le rendement en filet a induit un ralentissement de la chute de pH *post-mortem* et produit des viandes avec un pHu plus élevé et un meilleur pouvoir de rétention en eau (Le Bihan-Duval et al., 1999; Berri et al., 2001). Alors que les conditions d'abattage qui conditionnent la qualité des viandes sont relativement bien identifiées (Debut et al., 2003), les propriétés du muscle responsables des variations métaboliques *post-mortem* restent incertaines. Cette étude a pour objectif d'étudier l'impact de l'hypertrophie musculaire sur les caractéristiques et la qualité du filet de poulet.

Matériel et méthodes

Un total de 600 poulets (mâles et femelles) issus d'une lignée grand-parentale commerciale (Hubbard Europe) a été élevé en 2 lots successifs à la SRA. Après un jeûne de 8 h, les poulets de 6 semaines ont été étourdis (60 mA; 125 Hz; 5 s) puis abattus à l'abattoir expérimental de la SRA. Les carcasses ont été conservées à 2°C pendant 24 h puis disséquées en vue de déterminer les poids et rendements en muscles pectoraux. Nous avons déterminé sur le muscle *Pectoralis major* (PM) le potentiel glycolytique (Dalrymple et Hamm, 1973; Monin et Sellier, 1985) et l'aire de section transversale (AST) des fibres (Rémignon et al., 1995). Nous avons mesuré le pH à 15 min (pH15) et 24 h *post-mortem* (pHu), les paramètres de couleur L*, a*, b*, les pertes par exsudation entre J+1 et J+3, les pertes après décongélation-cuisson et la force maximale de cisaillement de la viande cuite (Warner-Bratzler). Pour 54 animaux divergeant sur la taille des fibres, nous avons déterminé le rapport FGH/FN (fibres géantes hypercontractées/fibres normales) selon Berri et al. (2004). Nos résultats ont été analysés avec les procédures CORR, RANK, GLM et REG du logiciel SAS (SAS Institute, 1989). Les corrélations génétiques entre paramètres ont par ailleurs été estimées par la méthode du REML (Restricted Maximum Likelihood) grâce au logiciel VCE (Neumaier et Groeneveld, 1998).

Résultats et discussion

Relation entre taille des fibres et caractéristiques du muscle et de la viande

L'AST des fibres est phénotypiquement reliée au poids vif (+0.51), au poids du muscle PM (+0.65) et à son rendement (+0.51). L'augmentation de l'AST des fibres n'a pas d'incidence sur la surface occupée par le tissu conjonctif (21% en moyenne) et n'induit pas de nécrose comme chez la dinde (Sosnicki et al., 1998). Selon les corrélations phénotypiques et génétiques (tableau 1), l'augmentation de l'AST des fibres est liée à une diminution des réserves en glycogène du muscle au moment de la mort et du lactate à 15 min *post-mortem*. Les conséquences en terme de qualité sont une viande avec un pH15 et un pHu augmentés, une valeur de L* et des pertes en eau plus faibles et une tendreté plus élevée après cuisson. Selon le test de régression multiple (tableau 2), les pertes en eau par exsudation et la valeur L* de la viande sont principalement déterminées par le pHu et plus faiblement par le pH15. Par contre, les propriétés de la viande cuite (pertes en eau et texture) sont aussi partiellement déterminées par l'AST et donc le poids du muscle.

Apparition des fibres géantes hypercontractées (FGH)

Quels que soient le poids du muscle et l'AST des fibres, l'apparition de FGH augmentent significativement quand le pH15 du muscle est inférieur ou égal à 6,30 (Tableau 3). Lorsque le pH15 est supérieur à 6,30, l'apparition de FGH est plus fréquente dans les muscles contenant des grosses fibres que dans les muscles contenant des petites fibres. Ceci suggère que l'apparition de FGH est plus sensible à l'augmentation de la vitesse de chute de pH dans les muscles contenant des grosses fibres. L'incidence en terme de qualité reste à démontrer.

Conclusions

Chez le poulet de chair, le diamètre des fibres est phénotypiquement et génétiquement fortement relié à la croissance globale et musculaire, confirmant que l'augmentation du poids et du rendement en filet résulte essentiellement de l'hypertrophie des fibres. L'hypertrophie du muscle n'entraîne pas de modification structurale majeure (nécrose, rapport fibre/conjonctif) mais, en réduisant les réserves en glycogène et l'activité glycolytique *post-mortem*, affecte les propriétés du muscle. Il en résulte des viandes avec des pH15 et pHu plus élevés, un meilleur pouvoir de rétention en eau et une tendreté supérieure après cuisson. En conclusion, cette étude ne met pas en évidence d'antagonisme génétique entre

croissance ou développement musculaire et qualité des viandes, et suggèrent que dans les conditions de notre étude les génotypes sélectionnés pour ces critères semblent plutôt bien adaptés aux procédés de transformation actuels.

Références

- Berri, C., Wacrenier, N., Millet, N. and Le Bihan-Duval, E. 2001. *Poult. Sci.* 80, 833-838.
 Berri C., Debut M., Le Bihan-Duval E., Santé-Lhoutellier V., Haj Hattab N., Jehl N., Duclos M.J. 2004. *In* : 50th ICoMST, Helsinki (FIN), 08-13 Août, 93-96.
 Dalrymple R. H., Hamm R. 1973. *J. Food Technol.* 8, 439-444.
 Debut M., Berri C., Baéza E., Sellier N., Arnould C., Guémené D., Jehl N., Boutten B., Jégo Y., Beaumont C., Le Bihan-Duval E. 2003. *Poult. Sci.* 8, 1829-1838.
 Le Bihan-Duval E., N. Millet, Rémignon H. 1999. *Poult. Sci.* 78, 822-826.
 Monin G., Sellier P. 1985. *Meat Sci.* 13, 49-63.
 Neumaier A., Groeneveld E. 1998. *Gen. Sel. Evol.* 30, 13-26.
 Rémignon H., Gardahaut M.F., Marché G., Ricard F.H. 1995. *J. Muscle Cell Motil.* 16, 95-102.
 SAS Institute. 1989. *SAS User's Guide: Statistics.* SAS Institute Inc., Cary, NC.
 Sosnicki A.A., Greaser M.L., Pietzrak M., Pospiech E., Santé V. 1998. *J. Muscle Foods.* 9, 13-23.

	Corrélations avec l'AST des fibres	
	phénotypiques	génétiques
Potentiel glycolytique	-0,25	-0,52
Lactate (15 min <i>post mortem</i>)	-0,27	-0,41
pH (15 min <i>post mortem</i>)	0,38	0,40
pHu	0,22	0,61
L*	-0,27	-0,41
a*	0,08	-0,12
b*	0,002	-0,42
Pertes par exsudation	-0,24	-0,44
Pertes par décongélation-cuisson	-0,38	-0,63
Force maximale de cisaillement	-0,31	-0,64

Tableau 1 :
Corrélations entre l'AST des fibres et les propriétés du muscle PM.
(n = 600) significatif, ***P < 0,001)

Variables	R ² partiel			R ² total
	pHu	pH 15	AST	
Pertes par exsudation	0,168	0,089	0,001	0,293
	***	***	ns	
L*	pHu	pH 15	AST	0,446
	0,374	0,070	0,002	
	***	***	ns	
Pertes (décongélation-cuisson)	AST	pHu	pH 15	0,289
	0,145	0,081	0,062	
	***	***	***	
Force maximale de cisaillement	pHu	AST	pH15	0,186
	0,112	0,058	0,016	
	***	***	***	

Tableau 2 :
Test de régression multiple.
(n = 600 ; ns = non significatif, ***P < 0,001)

AST moyenne des fibres	pH15	FGH/FN (%)	N
1238 µm ²	pH < 6,30	3,59	80%
	6,30 < pH < 6,40	0,38	11%
	pH > 6,50	0	0%
2147 µm ²	pH < 6,30	3,92	83%
	6,30 < pH < 6,40	1,14	40%
	pH > 6,50	0,52	30%
Effet AST		ns	
Effet pH15		***	
AST x pH15		ns	

Table 3 :
Apparition de fibres géantes hypercontractées (FGH).
(n = 54 ; FN = fibre normale ; N = % de muscles présentant des FGH ; ns = non significatif, ***P < 0,001)

EFFET DES CLA ALIMENTAIRES SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITE DE LA VIANDE DE PORC.

DOUARD V., MOUROT J., MOUNIER A.

UMRVP INRA, 35390 Saint Gilles.

Introduction

Au cours des dix dernières années des études ont mis en évidence chez de nombreux modèles animaux des propriétés intéressantes de certains isomères de l'acide linoléique conjugué (les CLA). Les CLA, et tout particulièrement l'acide ruménique (C18 :2 9-*cis*, 11-*trans*), joueraient, entre autres, un rôle anti-cancérigène et anti-athérogène chez de nombreuses espèces (Liew et al, 1995 ; Lee et al, 1994). De plus, un effet anabolisant des CLA a également été montré chez la souris, le porc et le lapin (Pariza et al, 1999, Corino et al., 2002, 2003).

L'apport de CLA dans l'alimentation augmenterait l'efficacité alimentaire chez le porc (Eggert et al., 1999; Thiel et al, 1998). Cet effet pourrait être dû à une diminution du catabolisme musculaire (Cook et al. 1998).

Les CLA sont contenus en quantité relativement importante dans certains produits laitiers mais ils peuvent également être obtenus par synthèse. Dans ce cas ils sont sous forme de mélange dans lequel on retrouve essentiellement le C18 :2 9-*cis*, 11-*trans* et le C18 :2 10-*cis*, 12-*trans* qui sont les principaux isomères actifs.

Le but de ce travail a été d'étudier l'effet d'un mélange de CLA, distribué à des porcs à partir de 40kg, sur les performances de croissance et les paramètres de qualité de la viande chez les porcs abattus à 110kg.

Protocole expérimental

40 porcs mâles castrés (Landrace*Large-White) * Piétrain ont été mis en expérience à 121 jours (± 4). Le poids initial des animaux était de 40,6 kg ($\pm 3,2$). Deux régimes isoénergétiques, isoprotéiques et isolipidiques (4%), de même base de fabrication, ont été testés. Dans le lot témoin, 3 % d'huile de tournesol ont été ajoutés. Dans le lot expérimental, 2,2 % d'huile de tournesol ont été ajoutés avec 0,8 % de CLA (Tableau 1).

Tableau 1: Composition des régimes, et quantité d'acides gras (mg/ kg aliment) apportés par l'alimentation.

	Témoin	CLA
Matières grasses (%)	4,26 \pm 0,02	4,35 \pm 0,10
C14:0 (mg/ kg aliment)	59	51
C16:0	3410	3631
C18:0	1168	1175
C18:1	8631	8010
C18:2	20675	18332
C18:3	645	594
CLA 9- <i>cis</i> , 11- <i>trans</i> (CLA 1)	ND	991
CLA 10- <i>cis</i> , 12- <i>trans</i> (CLA 2)	ND	953

Les porcs ont été abattus après un jeûne de 12 heures après électroanesthésie puis saignée. Une mesure de l'épaisseur de lard est effectuée au niveau de la première, 10ème et dernière côte. Le classement des carcasses est fait selon le classement TVM. Après 24 heures, une demie carcasse a été découpée selon la découpe hollandaise. Le pH a été mesuré à 24h dans le *Longissimus dorsi* ainsi que la couleur au moment de la découpe.

Au moment de l'abattage, des échantillons de muscle *Longissimus dorsi* et de bardière (TA sous-cutané dorsal) ont été prélevés pour la détermination des lipides totaux (Folch et al). La composition en AG de la bardière est déterminée par chromatographie en phase gazeuse.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne et écart-type à la moyenne par lot. Une analyse de variance a été effectuée pour tous les paramètres étudiés en prenant comme facteur principal l'effet de la présence ou non de CLA dans le régime.

Résultats

Tableau 2 : Caractéristiques de la carcasse à l'abattage.

	Lot témoin	Lot CLA	Effet
Rdt carcasse (%)	80,1 \pm 1,1	79,6 \pm 1,6	NS
TVM	59,3 \pm 2,3	60,8 \pm 1,5	P<0.02
Jambon	9846 \pm 564	10156 \pm 571	P<0.1
Longe	11031 \pm 701	11423 \pm 651	P<0.08
Poitrine	5554 \pm 376	5307 \pm 267	P<0.02
Épaule	10049 \pm 372	9741 \pm 489	P<0.03
Bardière	3054 \pm 359	2649 \pm 350	P<0.001
Foie	1844 \pm 199	1819 \pm 170	NS

Tableau 3 : Principaux acides gras déposés dans la bardière (g/100 g de tissu adipeux).

Lot	Lot témoin	Lot CLA	Effets
% LT	72,30 \pm 4,38	67,54 \pm 6,76	P<0.01
C18:0	9,02 \pm 1,30	11,24 \pm 1,57	P<0.001
C18:2	12,76 \pm 1,14	11,16 \pm 1,63	P<0.002
CLA 1	ND	0,30 \pm 0,07	P<0.001
CLA 2	ND	0,24 \pm 0,04	P<0.001
Index insat.	1,41 \pm 0,03	1,45 \pm 0,03	P<0.001
AGS	24,42 \pm 2,46	27,81 \pm 3,20	P<0.001
AGMI	23,76 \pm 2,51	17,65 \pm 2,52	P<0.001
AGPI	14,04 \pm 1,16	12,33 \pm 1,67	P<0.001

Aucune différence entre les traitements n'est notée pour le rendement de la carcasse (Tableau 2). Les carcasses ont un taux de muscle (TVM) plus élevé avec le traitement CLA ($P < 0.02$). De même, le poids de la longe est supérieur pour les CLA ($P < 0.08$) ainsi que le poids du jambon (mais à la limite de la signification). Par contre les poids de l'épaule et de la poitrine, morceaux à forte teneur en tissu adipeux, sont inférieurs avec les CLA ($P < 0.02$ et $P < 0.03$ respectivement) de même que le poids de la bardière. Le poids du foie n'est pas significativement modifié par les régimes. Le traitement avec les CLA permet donc de réduire la masse adipeuse déposée. La mesure faite sur la carcasse montre une diminution de l'épaisseur du TA aux niveaux de la 1ère côte pour les animaux des lots CLA. Les mesures de qualité de la viande n'ont pas mis en évidence d'effet des régimes: le pH 24h n'est pas différent entre les animaux des 2 lots et il en est de même pour la couleur de la viande.

La teneur en lipides dans la bardière est diminuée sous l'effet de l'ingestion des CLA ($P < 0.01$). La composition en acides gras est modifiée par les régimes. La teneur en acides gras saturés ainsi que l'index d'insaturation sont plus élevés chez les porcs recevant les CLA alimentaires alors que les monoinsaturés et les polyinsaturés sont plus faibles chez les porcs du lot CLA. L'accumulation des CLA ($P < 0.001$) est retrouvée dans la catégorie des C20:0 et C20:1 (Tableau 3). La quantité totale de CLA déposée au niveau de la bardière est de 0,54g de mélange de CLA pour 100 g TA pour les animaux du régime CLA.

Discussion

Cette étude montre un effet bénéfique des CLA sur la qualité de la carcasse sans affecter les performances de croissance et les paramètres de qualité de la viande. Cependant, afin d'optimiser ces effets, la période de distribution et la durée restent à préciser. En effet, des études précédentes semblent indiquer que la durée de distribution joue un rôle important (Bee, 2001, Corino et al., 2003).

La teneur en acides gras saturés est plus élevée chez les porcs recevant les CLA alimentaires alors que les monoinsaturés et les polyinsaturés sont plus faibles. A ce stade il est difficile d'expliquer ces variations d'autant plus qu'il est admis que les porcs les plus maigres présentent une augmentation de l'index d'insaturation des acides gras. On peut penser que les CLA peuvent stimuler les désaturases ou/et que les lipides membranaires (traditionnellement plus insaturés) sont en moins grande quantité dans les tissus (Lee et al. 1998). On peut aussi penser que les acides gras saturés qui entrent dans le métabolisme oxydatif sont moins bien utilisés en présence des CLA en raison d'une inhibition de ces mécanismes par les CLA. Une étude plus approfondie de ces mécanismes et de la structure du tissu adipeux permettrait d'apporter une réponse à ces hypothèses.

Les CLA vont donc diminuer le poids des tissus adipeux mais aussi la teneur en lipides de ces tissus, sans affecter la quantité de lipides dans le tissu adipeux intramusculaire. Ils vont également se stocker dans les tissus adipeux (5g/kg de TA). Il serait intéressant de voir si un tel dépôt existe au niveau du muscle et dans quelles proportions.

Conclusion

D'après ces résultats, il apparaît donc que les CLA alimentaires améliorent les qualités nutritionnelles de la viande en diminuant les teneurs en lipides des tissus adipeux sans modifier celles des tissus musculaires.

S'il continue d'être admis que les CLA sont bénéfiques pour la nutrition humaine, des études doivent être poursuivies afin, d'une part, de préciser les mécanismes qui conduisent à une diminution de la masse adipeuse et de la teneur en lipides dans les tissus de stockage. D'autre part, il faudrait étudier le devenir des CLA dans la viande porc après transformation afin de déterminer les effets de ces régimes sur la qualité nutritionnelle de la viande (comparaison muscles frais et muscles cuits, devenir des CLA après transformation des jambons en jambons secs). Ceci permettrait de préciser les retombées éventuelles en terme de nutrition humaine.

Références bibliographiques

- Bee G., 2001 Anim. Res., 50:383-399.
Cook M.E., Jerome D.L., Crenshaw T.D., Buege D.R., Pariza M.W., Albright S.P., Schmid J.A., Scimeca P.A., Lofgren P.A., Hentges J.E., 1998. FASEB 125, 4843-4853.
Corino C., Mourot J., Magni S., Pastorelli G., Rosi F. 2002 J Anim Sci 2002, 80, p1020-1028
Corino C., Magni S, Pastorelli G., Rossi R, Mourot J. 2003, J Anim Sci, 81, 2219-2229
Eggert J.M., Belury M.A., Kempa-Steczko A., Schinckel A.P., 1999. J. Anim. Sci. 77, 29 (Abstr.).
Lee KN., Kritchevsky D., Pariza MW., 1994. atherosclerosis, 108, 19-25.
Lee KN, Pariza M.W., Ntambi JM., 1998 Biochem Biophys Res. 248, 817-821
Liew C., Schut HAJ., Chin SF., Pariza MW., Dashwood RH., 1995. Carcinogenesis, 16, 3037-3043.
Pariza MW., Park Y., Cook ME., 1999. Toxicol Sci., 52, 107-10.
Thiel-Cooper R.L., Sparks J.C., Wiengand B.R., Parrish F. C., Ewan R.C., 1998a. J. Anim. Sci. 76, 61 (abstr).

Posters

Session 1

CARACTERISATION PROTEOMIQUE DE LA TEXTURE ANORMALEMENT PATEUSE DU JAMBON SEC

²SANTE-LHOUTELLIER V., HORTOS M., ¹ARNAU J., ²MONIN G.

¹IRTA-Centre de Tecnologia de la Carn. Granja Camps i Armet, s/n. 17121-Monells, Spain

²INRA Meat Research Centre 63122 Saint Genès Champanelle, France

Introduction

La texture du jambon sec est la résultante de l'ensemble des modifications qui affectent la solubilité et l'intégrité des protéines du muscle. La protéolyse est plus intense dans les premiers mois de sèche et tend à diminuer avec l'augmentation de la teneur en sel dans les muscles. Les italiens ont montré sur le jambon de Parme qu'une protéolyse excessive conduit à une texture anormalement molle (Parolari *et al.* 1994, Virgili *et al.* 1995). A ce jour, la pastosité et le caractère mou du jambon sec semble lié à une activité importante des cathepsines, en particulier de la cathepsine B. Cela dit, de nombreux facteurs tels que le génotype, le sexe, l'âge, le pH et la technologie (salage, température, durée de sèche) influent sur le degré de protéolyse (Buscailhon *et al.* 1994, Arnau *et al.* 1998, Garcia-Garrido *et al.* 1999, Tabilo *et al.* 1999). La mesure de l'azote non protéique (acides aminés + peptides) est traditionnellement effectuée et constitue la mesure de référence d'estimation de la protéolyse dans le jambon sec. Cependant, de nouvelles techniques telle que l'électrophorèse bidimensionnelle devrait permettre une approche plus globale de caractérisation d'un jambon sec par sa carte protéique (plusieurs centaines de protéines présentes sur un même gel). A terme, couplée à la spectrométrie de masse, cette approche a pour but d'identifier des protéines d'intérêt pouvant servir alors de marqueurs biologiques.

La comparaison des cartes de protéiques de jambon à texture pâteuse vs jambon à texture normale a été menée à partir de protéines extraites à faible force ionique.

Matériel et méthodes

Des jambons secs espagnols ont été sélectionnés sur la base de leur texture : normale, molle et pâteuse. Le muscle étudié est le *Biceps femoris*.

Extraction et fractionnement protéique

150 mg de muscle sont homogénéisés dans 1.5 ml de tampon (150 mM NaCl, 25 mM KCl, 3 mM MgCl₂ et 4 mM EDTA), dans un Eppendorf contenant une bille de verre. L'homogénéisation s'effectue pendant 30 minutes à 4°C (agitateur Retsch, Haan, Allemagne). Les homogénats sont ensuite centrifugés à 10000g pendant 10 minutes à 10°C. Le surnageant est recueilli et les protéines dosées (Bio-Rad Bradford Protein Assay kit).

Electrophorèse bi dimensionnelle

Les électrophorèses 2D sont réalisées sur les échantillons normaux (n=3), mous et pâteux (n=3). Les protéines sont d'abord séparées selon leur point isoélectrique (strips pH 4-7, BioRad; cuve Protean IEF, BioRad). 90 µg de protéines extraites sont déposés sur les strips. Les conditions de réhydratation des strips, de focalisation et la séparation des protéines selon leur poids moléculaire sont similaires à celles décrites par Morzel *et al.* (2004). Les gels, réalisés en double, sont ensuite colorés à l'argent selon le protocole de Yan *et al.* (2000). Les gels sont alors scannés (densitomètre GS-800, BioRad) et analysés en utilisant le logiciel PDQUEST (BioRad).

Résultats et discussion

Les profils protéiques obtenus varient en fonction de la qualité des jambons secs. L'analyse des gels révèle que certains spots sont différentiellement exprimés dans les jambons à texture normale, molle ou pâteuse (Figure 1). D'une manière générale, les gels de jambon à texture pâteuse ont des spots protéiques dont la densité est plus intense dans la zone de poids moléculaire élevée. Cela traduit une augmentation de la solubilisation des protéines de poids moléculaire élevé, qui sont alors extraites dans nos conditions de faible force ionique. A ce stade, il est difficile de statuer sur ces protéines qui peuvent être soit des fragments protéiques soit des protéines entières solubilisées. Une autre caractéristique des jambons pâteux est l'absence de spots dans la partie inférieure et centrale du gel, spots qui sont présents dans les gels de jambon de texture normale. L'absence de ces protéines ou fragments protéiques de faible poids moléculaire peut s'expliquer par une protéolyse très intense dans les jambons pâteux. Dans nos conditions expérimentales, la limites de détection des protéines se situe à environ 8-10 Kda. De ce fait, les peptides et les très petites protéines n'apparaissent pas sur les gels. Généralement, les auteurs mettent en relation la teneur en azote non protéique, l'activité de la cathepsine B et la texture pâteuse (Parolari *et al.* 1988). Les jambons à texture molle sont intermédiaires entre les jambons normaux et pâteux. En effet, ces gels présentent des caractéristiques communes aux jambons pâteux (plus de spots dans la zone supérieure du gel mais avec un intensité moindre) et aux jambons normaux (présence de spots dans la partie inférieure et centrale du gel).

Conclusions

Les profils protéiques sont caractéristiques de la qualité des jambons secs. La texture pâteuse du jambon sec se révèle être liée à une protéolyse intense qui semble affecter les protéines de poids moléculaire inférieure à 44-45kDa et à une solubilisation accrue des protéines de haut poids moléculaire. L'approche protéomique de la qualité du jambon sec est complémentaire aux mesures classiques de l'azote non protéique. Ses développements, couplés à la spectrométrie de masse devraient permettre d'identifier les protéines cibles de la protéolyse et à terme définir des marqueurs biologiques de la qualité.

Références

- Arnau J, Guerrero L & Sarraga C. 1998. *J. Science Food Agric.* 77: 387-392.
Buscailhon S, Berdagué J.L, Gandemer G, Touraille C & Monin G. 1994. *J. Muscle Food* 5: 257-270
Garcia-Garrido JA, Quiles-Zafra R, Tapiador J & Luque de Castro MD. 1999. *Food Chemistry* 67: 423-427
Morzel M., Chambon C., Hamelin M, Santé-Lhoutellier V, Sayd T & Monin G. 2004. *Meat Science* 67: 689-696
Parolari G, Rivaldi P, Leonelli C, Bellati M & Bovis N. 1988. *Industrie Conserve* 63: 45-49
Parolari G, Virgili R & Schivazappa C. 1994. *Meat Science* 38: 117-122
Tabilo G, Flores M, Fiszman S.M & Toldra F. 1999. *Meat Science* 51: 255-260
Yan J, Wait, R, Berkelman T, Harry R, Westbrook J, Wheeler C & Dunn M. 2000. *Electrophoresis* 21: 3666-3672
Virgili R, Parolari G, Schivazappa C, Soresi Bordini C & Borri M. 1995. *J. Food Science* 60: 1183-1186

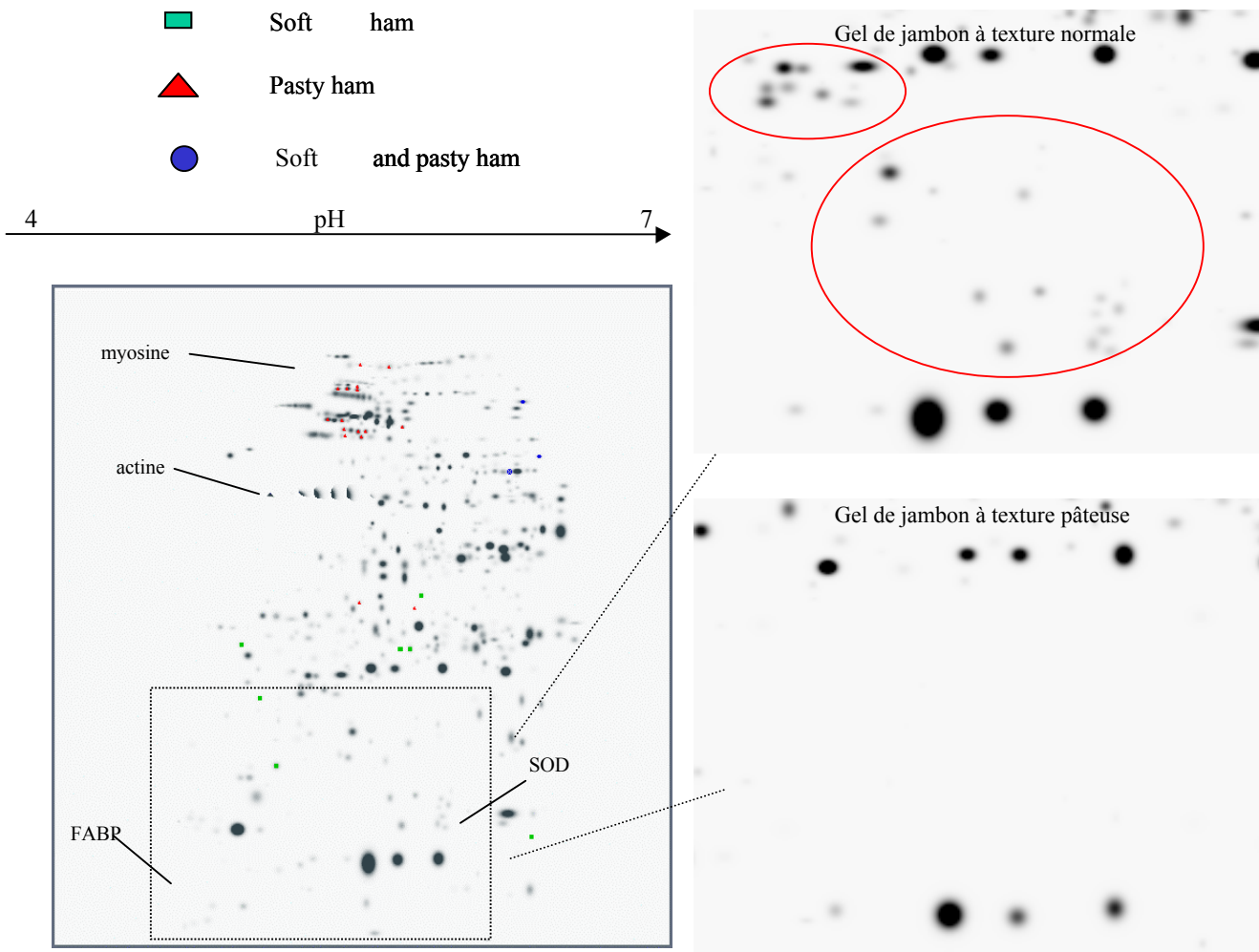


Figure 1 : gel 2D de jambon sec . FABP (Fatty Acid Binding Protein), SOD (Superoxyde dismutase)

COMPOSITION DU MUSCLE LONGISSIMUS EN CHAINES LOURDES DE LA MYOSINE ENTRE LES RACES PORCINES LARGE WHITE ET MEISHAN

LEFAUCHEUR L., ECOLAN P., LE CALLENNEC C.

INRA, UMR Veau et Porc, 35590 Saint-Gilles, France

Introduction

Huit isoformes de chaîne lourde de la myosine (MyHC pour « Myosin Heavy Chain »), chacune codée par un gène différent, sont localisées dans 2 groupes dans le muscle squelettique de mammifère (Weiss et al., 1999). Chez le porc, un groupe renferme les MyHC α et β (type I) sur le chromosome 7, tandis que l'autre contient les MyHC embryonnaire, IIA, IIX, IIB, néonatale et extraoculaire sur le chromosome 12 (Davoli et al., 2002). Au poids commercial d'abattage, seules les MyHC I (lente) et rapides IIA, IIX et IIB sont présentes (Lefaucheur et al., 2002). Les vitesses maximales de contraction et le métabolisme glycolytique augmentent dans l'ordre I, IIA, IIX et IIB, alors que l'ordre est inversé pour le métabolisme oxydatif. Dans des conditions physiologiques normales, la transition entre les MyHC se fait selon le schéma $I \leftrightarrow IIA \leftrightarrow IIX \leftrightarrow IIB$ (Schiaffino et Reggiani, 1996).

Les animaux de race Meishan (MS) présentent une vitesse de croissance, une efficacité alimentaire et une teneur en muscle inférieures à celles d'animaux standards de type européen (Bidanel et al., 1990), mais une qualité organoleptique de la viande supérieure (Touraille et al., 1989). Paradoxalement, aucune différence de composition en fibres, classées en trois types par histoenzymologie (I, IIA et IIB selon Brooke et Kaiser, 1970), n'a été observée dans le muscle *longissimus* entre les races MS et Large White (LW) (Bonneau et al., 1990). Cependant, tandis que les fibres I et IIA contiennent respectivement les MyHC I et IIA, les fibres IIB constituent une population hétérogène qui renferme les MyHC IIX et/ou IIB (Lefaucheur et al., 2002). En conséquence, l'objet de la présente étude est de comparer la composition en fibres du muscle *longissimus* entre les races MS et LW en tenant compte de l'existence des MyHC IIX et IIB.

Matériel et méthodes

Des porcs femelles de race LW (n = 8) et MS (n = 8) issus de l'élevage expérimental INRA du Magneraud ont été abattus à 62 kg de poids vif (131 et 142 jours d'âge, respectivement) dans l'abattoir expérimental de l'INRA à Saint-Gilles après une nuit de jeûne. Immédiatement après l'abattage, des échantillons du muscle *longissimus* (rapide glycolytique) sont prélevés, congelés dans l'azote liquide puis stockés à -80°C. En complément du typage histoenzymatique (Brooke et Kaiser, 1970), les fibres musculaires sont typées sur des coupes sériées en fonction de leur composition en MyHC par hybridation in situ (niveau ARNm) et histoimmunologie (niveau protéique) comme décrit précédemment (Lefaucheur et al., 2002).

Une quantification de la proportion de chaque MyHC par RT-PCR en temps réel a également été réalisée. Brièvement, après un traitement par la DNase, 3.5 μ g d'ARN total sont rétro transcrits à l'aide d'une amorce MyHC spécifique commune aux MyHC I, IIA, IIX et IIB (5'GTTGGTCATCAGCTTGTTTCAGATT3'). Ensuite, pour chaque MyHC, une PCR en temps réel est réalisée en triple en utilisant un couple d'amorce commun aux 4 MyHC (sens: 5'GGCACCGTGGACTACAACAT3' ; antisens: 5'GTTGGTCATCAGCTTGTTTCAGATT3') et une sonde TaqMan (6-carboxyfluorescéine) spécifique d'une MyHC (I: 5'CTTCTCAACAGGTGTGTCG3'; IIA: 5'TCACCAGTTTGAGCCC. IIX: 5'TGCATCAGCACCTGCG3'; IIB: 5'ACCACCCTCTTCAGAAC3').

La lactate déshydrogénase (LDH), la citrate synthase (CS) et l'hydroxy-acyl-CoA déshydrogénase (HAD) sont utilisées comme marqueurs des métabolismes glycolytique, oxydatif global (cycle de Krebs) et de la β -oxydation des lipides, respectivement. Les activités sont mesurées sur homogénat de muscle et exprimées en μ mol de substrat min^{-1} g de muscle frais⁻¹ (Lefaucheur et al., 1992).

La signification statistique de l'effet race est testée par analyse de la variance (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; *** : $P < 0.001$; NS : $P > 0.10$.

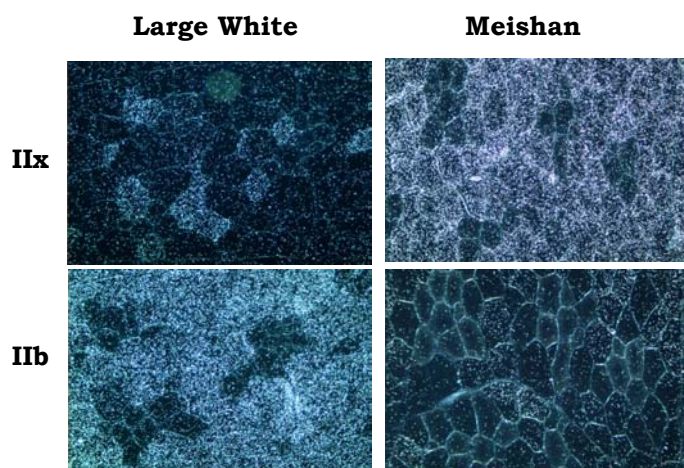
Résultats

La proportion des fibres I, IIA et IIB classées par histoenzymologie est identique dans les 2 races (Tableau 1). En revanche, une diminution de l'expression de la MyHC IIB au profit de la IIX, et dans une moindre mesure de la IIA, est observée dans la race MS aux niveaux protéique et ARNm (Tableau 1). La figure 1 illustre les différences d'expression des MyHC IIX et IIB entre les races LW et MS au niveau ARNm par hybridation in situ. Ainsi, la MyHC IIB est la forme majoritaire chez le LW, alors que c'est la MyHC IIX chez le MS. Les animaux MS présentent une activité LDH plus faible et des activités CS et HAD plus élevées. Le rapport LDH/CS, indicateur du métabolisme glycolytique par rapport au métabolisme oxydatif global, est inférieur chez les MS. Au contraire, le rapport HAD/CS, marqueur de l'importance relative de la β -oxydation par rapport au métabolisme oxydatif global est supérieur chez les porcs MS.

Tableau 1. Composition en chaînes lourdes de la myosine (I, IIa, IIx, IIb) et activités enzymatiques du muscle longissimus dans les races porcines Large White (LW) et Meishan (MS).

	LW	MS	ETR	P
Histoenzymologie (nombre, %)				
I	7.9	7.5	2.2	NS
IIA	5.5	5.3	2.7	NS
IIB	86.6	87.3	3.0	NS
Histoimmunologie (surface, %)				
I	7.2	8.0	1.4	NS
IIa	8.6	11.4	2.1	*
IIx	24.5	62.5	20.8	**
IIb	74.6	57.9	7.0	***
Hybridation in situ (surface, %)				
I	6.4	7.3	1.5	NS
IIa	9.4	14.1	4.2	*
IIx	25.5	67.5	10.9	***
IIb	77.5	56.8	7.2	***
RT-PCR (quantité, %)				
I	6.2	8.3	2.9	NS
IIa	7.5	13.4	3.3	**
IIx	23.4	61.1	11.9	***
IIb	62.9	17.1	10.6	***
Activités enzymatiques, $\mu\text{mol substrat min}^{-1} \text{g muscle frais}^{-1}$				
LDH	2529	2086	264	***
CS	6.41	8.30	0.86	***
HAD	3.48	5.08	0.54	***
LDH/CS	405	252	64	***
HAD/CS	0.55	0.61	0.05	*

Figure 1. Hybridation in situ à l'aide des sondes MyHC IIx et IIb dans le muscle longissimus de porcs Large White et Meishan.



Bibliographie

- Bidanel J.P., Caritez J.C., Legault C., 1990. Pig News Information 11, 345-348.
- Bonneau M., Mourot J., Noblet J., Lefaucheur L., Bidanel J.P., 1990. In: Chinese Pig Symposium. M. Molena and C. Legault, ed. INRA, Jouy en Josas, France, 203-213.
- Brooke M.H., Kaiser K.K., 1970. Arch. Neurol. 23, 369-379.
- Davoli R., Fontanesi L., Zambonelli P., Bigi D., Gellin J., Yerle M., Mile J., Braglia S., Cenci V., Cagnazzo M., Russo V., 2002. Anim. Genet. 33, 3-18.
- Lefaucheur L., Missohou A., Ecolan P., Monin G., Bonneau M., 1992. J. Anim. Sci., 70, 3401-3411.
- Lefaucheur L., Ecolan P., Plantard L., Gueguen N., 2002. J. Histochem. Cytochem. 50, 719-730.
- Pette D., Staron R.S., 2000. Micr. Res. Tech., 50, 500-509.
- Schiaffino S., Reggiani C., 1996. Physiol. Rev., 76, 371-423.
- Touraille C., Monin G., Legault C., 1989. Meat Sci. 25, 177-186.
- Weiss A., McDonough D., Wertman B., Acakposatchivi L., Montgomery K., Kucherlapati T., Leinwand L., Krauter K., 1999. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 96, 2958-2963.

Discussion

Aucune différence de composition en fibres classées en I, IIA et IIB par histoenzymologie (Brooke et Kaiser, 1970) n'a été observée entre les races MS et LW, alors que la proportion des MyHC IIx et IIb est très différente. Ces observations confirment que la classification des fibres en I, IIA et IIB est insuffisante chez le porc.

La détermination de la composition en MyHC au niveau ARNm (hybridation in situ, RT-PCR) et protéique (histoimmunologie) donne des résultats similaires, ce qui suggère une régulation essentiellement transcriptionnelle des MyHC.

Contrairement à l'idée reçue que la MyHC IIb serait exclusivement exprimée chez les petites espèces en relation avec leurs mouvements rapides (Pette et Staron, 2000), nos résultats montrent que la MyHC IIb est fortement exprimée chez le porc de race LW.

Comparativement aux porcs LW, une transition du type IIb vers IIx, et dans une moindre mesure IIa, est observée chez les porcs MS, sans modification significative du type I. Cette transition suit le schéma général $I \leftrightarrow IIa \leftrightarrow IIx \leftrightarrow IIb$. Puisque le métabolisme oxydatif diminue du type I au type IIb (Lefaucheur et al., 2002), l'évolution vers un type plus lent chez le MS est cohérente avec un métabolisme énergétique musculaire moins glycolytique, plus oxydatif et plus utilisateur de lipides comme source énergétique.

Perspectives

Les différences marquées d'expression des MyHC IIx et IIb entre les races LW et MS posent la question de leur signification en termes de performance de croissance et de qualité de la viande. Des expériences sont à contruire pour étudier spécifiquement l'implication des MyHC dans ces processus.

EFFET D'UNE REVERSION DU SEXE SUR LE DEVELOPPEMENT MUSCULAIRE DU POULET

BAEZA E. , BRILLARD J.P.

Station de Recherches Avicoles, INRA Tours, 37380 Nouzilly, France

Introduction

Les volailles sont caractérisées par un dimorphisme sexuel sur le poids vif au bénéfice des mâles qui se répercute sur le poids des muscles. Il semblerait que les différences de caractéristiques musculaires observées entre mâles et femelles après éclosion soient déterminées au cours de la myogénèse embryonnaire (Henry et Burke, 1999). Il est possible de réverser le sexe d'embryons de femelles génétiques en injectant *in ovo*, avant le 5^{ème} jour d'incubation, du Fadrozole, un inhibiteur d'aromatase (enzyme permettant la conversion d'androgènes en oestrogènes ; Burke et Henry, 1999). Chez le poulet et la dinde, ce traitement n'a pas modifié le poids vif des femelles reversées, ni le poids de leur filet (Burke et Henry, 1999). L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet d'une réversion du sexe sur le développement et la typologie des fibres musculaires du *Pectoralis major* et du *Sartorius* (respectivement muscles du filet et de la cuisse).

Matériels et méthodes

Des poules pondeuses Isabrown adultes ont été inséminées avec du sperme en mélange de 8 coqs. Un total de 380 œufs a été collecté et mis en incubation en conditions standards. Le 4^{ème} jour d'incubation, la moitié des œufs a subi une injection de Fadrozole (1 mg dilué dans 0.1 ml de tampon phosphate) et l'autre moitié a subi une injection de tampon phosphate uniquement comme décrit par Vaillant et al. (2003). A l'éclosion, les poussins ont été sexés phénotypiquement et génétiquement comme décrit par Vaillant et al. (2003). Ils ont été élevés au sol, en claustration totale, jusqu'à l'âge de 16 semaines puis, placés en cages individuelles jusqu'à l'âge de 28 semaines. A l'âge de 24 jours, les poussins ont été répartis en 10 lots, décrits dans le Tableau 1. De 4 à 28 semaines, les animaux traités après éclosion ont subi une injection intramusculaire dans le filet deux fois par semaine (Vaillant et al., 2003). A 28 semaines, les animaux ont été pesés et sacrifiés avec une dose létale de pentobarbital (1 ml/kg). L'appareil reproducteur a été prélevé et analysé par histologie (Vaillant et al., 2003). Le *Pectoralis major* et le *Sartorius* (respectivement muscles du filet et de la cuisse) ont été prélevés et pesés. Un échantillon de chaque muscle a été congelé dans de l'isopentane refroidi avec l'azote liquide et conservé à -80°C avant l'analyse histochimique. La typologie des fibres musculaires de chaque échantillon a été ensuite réalisée comme décrit précédemment par Baéza et al. (1999). L'utilisation d'huile lors des injections pour les lots 2, 3, 7 et 8 a entraîné la formation d'abcès et de kystes dans les filets qui n'ont donc pas été prélevés pour ces lots. Les résultats ont été traités par analyse de variance.

Tableau 1 : description des lots et de la structure des gonades des animaux à 28 semaines

Traitement <i>in ovo</i>	Lots (n)	Sexe génétique	Traitement post-natal	2 ovaires *	1 testicule *	2 testicules *
PBS	1 (6)	Femelle	Aucun	6	0	0
	2 (7)	Femelle	Huile + PBS	7	0	0
	3 (7)	Femelle	Testostérone + Fadrozole	7	0	0
Fadrozole	4 (5)	Femelle	Fadrozole	5	0	0
	5 (7)	Mâle	Aucun	0	0	7
	6 (6)	Femelle	Aucun	0	4	2
	7 (5)	Femelle	Huile + PBS	0	2	3
	8 (7)	Femelle	Testostérone + Fadrozole	0	3	4
	9 (6)	Femelle	Fadrozole	0	2	4
	10 (9)	Mâle	Aucun	0	0	9

PBS = tampon phosphate - * Nombre d'animaux présentant deux ovaires, un ou deux testicules normaux

Résultats et discussion

L'observation des gonades des animaux sacrifiés à 28 semaines a montré que seul le traitement *in ovo* des femelles génétiques avec le Fadrozole avait entraîné une réversion plus ou moins complète de leur sexe (Tableau 1, Vaillant et al., 2003). Pour la présentation des résultats, les lots 1 à 4 constitués uniquement par des femelles, les lots 5 et 10 constitués uniquement par des mâles et les lots 6 à 9 constitués de femelles génétiques reversées phénotypiquement ont donc été

regroupés. La réversion du sexe n'a eu aucun effet sur le poids vif à 28 semaines, ni sur le développement du *P. major* (Tableau 2), confirmant les observations de Burke et Henry (1999). Par contre, le poids du *Sartorius* et son pourcentage par rapport au poids vif ont été significativement accrus et les femelles reversées présentent des valeurs moyennes intermédiaires à celles des femelles et des mâles normaux.

Tableau 2 : effet d'une réversion du sexe sur le développement corporel et musculaire du poulet

Groupes d'animaux	Poids vif à 28 semaines (g)	Poids (g) et % du <i>Sartorius</i> / poids vif	Poids (g) et % du <i>P. major</i> / poids vif
Femelles normales	3519 ± 251 b	10.19 ± 0.95 c 0.29 ± 0.02 b	193.18 ± 26.21 b 5.48 ± 0.33 b
Mâles normaux	4557 ± 236 a	23.06 ± 2.76 a 0.51 ± 0.05 a	258.78 ± 21.11 a 5.68 ± 0.36 a
Femelles reversées	3361 ± 316 b	14.70 ± 2.51 b 0.44 ± 0.07 a	186.45 ± 24.88 b 5.40 ± 0.32 b

a, b, c : différence significative à $P < 0.05$

Malgré un effet du sexe important sur le poids vif (Tableau 2) et sur le poids du filet, au bénéfice des mâles, l'aire de section transversale des fibres musculaires du *P. major*, chez les mâles et les femelles, est équivalente (4047 ± 686 vs $4025 \pm 834 \mu\text{m}^2$). La différence sur le poids du muscle pourrait donc être due à un nombre et/ou une longueur plus importants des fibres musculaires chez les mâles. La réversion du sexe n'a eu aucun effet sur la typologie et la taille des fibres musculaires du *P. major*. Par contre, dans le *Sartorius*, la proportion de fibres oxydo-glycolytiques de type IIa est plus importante chez les mâles et les femelles reversées que chez les femelles normales, au détriment uniquement des fibres glycolytiques de type IIb. La proportion de fibres oxydatives de type I est équivalente pour les trois groupes d'animaux. L'aire de section transversale des fibres musculaires du *Sartorius* des femelles reversées est également supérieure à celle mesurée chez les femelles normales : + 31, 42 et 45 % respectivement pour les fibres de type I, IIa et IIb mais elle n'atteint jamais celle mesurée chez les mâles. Cette augmentation de taille des fibres correspond à l'augmentation du poids du *Sartorius* (+ 44 %) chez les femelles reversées.

Tableau 3 : effet d'une réversion du sexe sur la typologie et la taille des fibres musculaires du *Sartorius* (muscle de la cuisse)

Groupes d'animaux	% I	CSA I (μm^2)	% IIa	CSA IIa (μm^2)	% IIb	CSA IIb (μm^2)
Femelles normales	15 ± 5 a	1777 ± 392 b	50 ± 5 b	1694 ± 290 b	35 ± 8 a	2728 ± 367 b
Mâles normaux	17 ± 6 a	2623 ± 520 a	58 ± 7 ab	2860 ± 494 a	26 ± 10 b	4371 ± 743 a
Femelles reversées	15 ± 4 a	2333 ± 468 ab	60 ± 6 a	2399 ± 353 ab	25 ± 5 b	3955 ± 850 a

a, b : différence significative à $P < 0.05$ - CSA = aire de section transversale - I = fibres oxydatives à contraction lente - IIa et IIb = respectivement fibres oxydo-glycolytiques et glycolytiques à contraction rapide

Seul le traitement *in ovo*, de femelles génétiquement identifiées, avec du Fadrozole permet de reverser leur sexe et de modifier la croissance et la typologie des fibres de muscles tels que le *Sartorius* dont le développement débute très tôt au cours de la phase embryonnaire. La croissance et la typologie des muscles dont le développement est postérieur à l'éclosion tels que le *P. major* ne sont pas affectées.

Références

- Baéza E., Marché G., Wacrenier N., 1999. 3èmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 23-25/3/99, 391-394.
 Burke W.H., Henry M.H., 1999. Poultry Sci., 78, 1019-1033.
 Henry M.H., Burke W.H., 1999. Poultry Sci., 78, 1006-1013.
 Vaillant S., Guémené D., Dorizzi M., Pieau C., Richard-Mercier N., Brillard J.P., 2003. Mol. Reprod. Dev., 65, 420-428.

EFFET DU GENOTYPE ET DU GAVAGE SUR LES DEPÔTS DE LIPIDES INTRAMUSCULAIRES DANS LE FILET DE CANARD

CHARTRIN P.¹, SCHIAVONE A.², BERNADET M.-D.³, GUY G.³, MOUROT J.⁴, DUCLOS M.J.¹, BAEZA E.¹

¹ Station de Recherches Avicoles, INRA Tours, 37380 Nouzilly, France

² Dipartimento di Produzioni Animali, Epidemiologia ed Ecologia, 10095 Grugliasco, Italy

³ SEPCG, INRA Artiguères, 40280 Benquet, France

⁴ URVMP, INRA, 35590 St Gilles, France

Introduction

En France, deux espèces principales de canard sont utilisées pour produire de la viande et du foie gras : Barbarie et mulard. Hermier et al. (2000) ont démontré que l'aptitude à stocker des lipides dans le foie ou dans les muscles dépendaient du génotype. Les canards Pékins avaient un engraissement extra hépatique très important, la situation inverse était observée pour les canards de Barbarie. Le dépôt de lipides intramusculaires (LIM) est fortement impliqué dans le déterminisme de la qualité de la viande, en particulier ses caractéristiques nutritionnelles et sensorielles. Par ailleurs, la localisation des LIM a été très peu étudiée à ce jour chez les volailles. L'objectif de notre étude était donc d'analyser les effets du génotype (Barbarie, Pékin, mulard et hinny) et du gavage sur la quantité, la qualité (classes de lipides, profils en acides gras) et la localisation (adipocytes, fibres musculaires) des LIM chez le canard.

Matériels et méthodes

Des canards de 4 génotypes différents : Pékin, Barbarie et leurs croisements, mulard et hinny issus des mêmes parents (50 par génotype) ont été élevés à la station expérimentale de l'INRA d'Artiguères (France). A l'âge de 12 semaines, 35 canards par génotype ont été gavés pendant 2 semaines, au maximum de leur capacité d'ingestion, avec un mélange de maïs entier et broyé ; 12 canards par génotype ont été nourris ad libitum (témoins). A 14 semaines, 8 canards par traitement ont été pesés et sacrifiés. Un muscle du bréchet, le Pectoralis Major (PM) a été prélevé et congelé en vue de l'analyse de la composition chimique et histologique. La teneur en lipides totaux des muscles a été mesurée par gravimétrie (Folch et al., 1957). Les classes de lipides ont été déterminées par chromatographie en couche mince avec un détecteur à ionisation de flamme (Iatroscan, Iatron, Tokyo, Japon, Mares et al., 1983). La composition en acides gras a été déterminée après transméthylation des lipides (Morrison et Smith, 1964) par chromatographie en phase gazeuse (Perkin Elmer autosystem, St Quentin en Yvelines, France). La surface occupée par les adipocytes intramusculaires, la typologie et la teneur en lipides totaux ou triglycérides des fibres musculaires ont été déterminées par histologie et analyse d'images sur des coupes sériées de muscle comme décrit par Chartrin et al. (2004). Les résultats ont été comparés avec une analyse de variance suivie d'un test de Newman-Keuls.

Résultats et discussion

TABLEAU 1: Effet du génotype et du gavage sur la teneur en lipides totaux, les classes de lipides et la composition en acides gras du Pectoralis major de canards (G = gavés, T = témoins, moyenne \pm ET, n = 8)

Génotypes		Barbarie	Hinny	Mulard	Pékin	Effet du génotype	Effet du gavage
Lipides totaux (g / 100 g)	G	3.65 \pm 0.51	5.92 \pm 0.98	5.24 \pm 0.96	7.57 \pm 0.85	***	***
	T	2.26 \pm 0.36	3.87 \pm 1.44	3.13 \pm 0.54	4.59 \pm 0.68		
Triglycérides (g / 100 g)	G	2.37 \pm 0.47 d	4.35 \pm 0.76 b	3.66 \pm 0.91 c	5.95 \pm 0.86 a	***	***
	T	1.02 \pm 0.24 e	2.19 \pm 0.87 d	1.79 \pm 0.32 d	3.09 \pm 0.58 c		
Cholestérol (g / 100 g)	G	0.13 \pm 0.05	0.14 \pm 0.05	0.16 \pm 0.04	0.15 \pm 0.02	ns	ns
	T	0.12 \pm 0.04	0.16 \pm 0.08	0.13 \pm 0.03	0.17 \pm 0.03		
Phospholipides (g / 100 g)	G	1.15 \pm 0.17	1.43 \pm 0.26	1.42 \pm 0.11	1.46 \pm 0.13	**	ns
	T	1.13 \pm 0.10	1.53 \pm 0.51	1.21 \pm 0.24	1.33 \pm 0.15		
Acides Gras Saturés (%) (AGS)	G	38.0 \pm 1.2	36.4 \pm 1.8	37.9 \pm 1.2	33.4 \pm 1.3	***	ns
	T	39.2 \pm 1.6	35.4 \pm 3.3	36.9 \pm 1.8	32.4 \pm 1.2		
Acides Gras Mono-Insaturés (%) (AGMI)	G	46.4 \pm 1.6 c	48.5 \pm 2.6 bc	45.7 \pm 0.9 c	51.6 \pm 1.8 a	***	***
	T	37.2 \pm 2.2 e	42.9 \pm 3.4 d	42.2 \pm 3.2 d	49.3 \pm 2.3 ab		
Acides Gras Poly-Insaturés (%) (AGPI)	G	15.7 \pm 1.4 d	15.1 \pm 1.0 d	16.4 \pm 1.3 d	15.0 \pm 1.0 d	***	***
	T	23.6 \pm 1.9 a	21.8 \pm 1.3 b	20.9 \pm 3.3 b	18.3 \pm 1.8 c		

*, **, *** : effet significatif avec P < 0.05, 0.01, 0.001 – ns = non significatif

a-e : différence significative entre groupes pour un paramètre avec P < 0.05 (interaction génotype X gavage)

Le gavage a induit une augmentation de la teneur en lipides totaux (X 1.6) et en triglycérides du PM (X 2.0). Les canards Pékins présentaient les teneurs en lipides et triglycérides dans le PM les plus élevées et les canards de Barbarie les plus

faibles. Les corrélations entre lipides totaux et triglycérides, cholestérol ou phospholipides étaient de 0.99, 0.46 et 0.61. Le gavage a induit une augmentation des AGMI au détriment des AGPI suggérant une augmentation du métabolisme oxydatif du muscle. Ce résultat est cohérent avec la détection de faibles teneurs en acide linoléique et en AGPI dérivés des acides linoléique et linoléique malgré la forte proportion de ces acides gras essentiels dans l'aliment de gavage (Cazeils et al., 1999). Ces auteurs concluaient que chez les palmipèdes gavés, la lipogénèse hépatique prenait le pas sur l'apport de lipides alimentaires pour moduler la composition en lipides des tissus. Les canards Pékins présentaient les plus faibles proportions en AGS et AGPI et la plus forte proportion en AGMI ce qui suggérerait une lipogénèse hépatique et/ou un transport des lipides synthétisés vers les tissus périphériques plus efficaces.

TABLEAU 2: Effet du génotype et du gavage sur la surface relative occupée par les adipocytes sur une coupe transversale du muscle Pectoralis major de canards et la teneur en lipides totaux et triglycérides des fibres musculaires (G = gavés, T = témoins, moyenne \pm ET, n = 8)

Génotypes		Barbarie	Hinny	Mulard	Pékin	Effet du génotype	Effet du gavage
Surface des adipocytes (%)	G	1.98 \pm 0.39 c	3.74 \pm 0.95 b	3.52 \pm 0.94 b	5.73 \pm 0.85 a	***	***
	T	1.15 \pm 0.34 d	2.47 \pm 0.34 c	2.60 \pm 0.66 c	3.59 \pm 0.62 b		
Lc NS fibres IIa	G	94 \pm 22	100 \pm 24	98 \pm 27	96 \pm 25	ns	ns
	T	107 \pm 23	102 \pm 19	111 \pm 25	102 \pm 21		
Lc RH fibres IIa	G	113 \pm 26	85 \pm 20	100 \pm 20	84 \pm 28	***	*
	T	160 \pm 23	137 \pm 38	164 \pm 32	145 \pm 27		
Lc NS fibres IIb	G	121 \pm 23	133 \pm 17	130 \pm 26	128 \pm 14	ns	ns
	T	131 \pm 29	131 \pm 22	134 \pm 30	131 \pm 28		
Lc RH fibres IIb	G	145 \pm 22	134 \pm 21	147 \pm 16	134 \pm 15	ns	***
	T	172 \pm 28	159 \pm 30	173 \pm 28	159 \pm 31		

*, **, *** : effet significatif avec $P < 0.05, 0.01, 0.001$ – ns = non significatif

a-c : différence significative entre groupes pour un paramètre avec $P < 0.05$ (interaction génotype X gavage)

Lc NS et Lc RH : luminance des colorations au Noir Soudan (lipides totaux) et au Rouge à l'Huile (triglycérides)

La luminance est inversement proportionnelle à la teneur en lipides et triglycérides des fibres musculaires

Le gavage a induit une augmentation significative de la surface relative occupée par les adipocytes du PM (3.74 ± 0.77 vs 2.45 ± 0.49 % chez les canards témoins, Tableau 2). Ce résultat confirme les observations précédentes réalisées chez le canard de Barbarie par Zanusso et al. (2003). Par comparaison avec les autres génotypes, la surface relative occupée par les adipocytes était la plus importante chez les canards Pékins et la plus faible chez les canards de Barbarie (3.76 ± 1.28 vs 1.73 ± 0.45 %). Dans le P. major, la proportion de fibres IIa et IIb était respectivement de 86 et 14 %. Le gavage a induit une augmentation de la teneur en triglycérides des fibres IIa et IIb de + 37 % et + 16 %. Par comparaison avec les autres génotypes, cette teneur était plus faible dans les fibres IIa du P. major des canards de Barbarie. Des corrélations très significatives ($P < 0.001$) ont été obtenues entre les teneurs en lipides et triglycérides (%) ou la quantité de triglycérides dans le muscle (g/100 g) et la surface relative occupée par les adipocytes : 0.80, 0.78 et 0.83 ou la luminance moyenne de la coloration au rouge à l'huile (triglycérides) des fibres IIa : -0.65, -0.65 et -0.67, et des fibres IIb : -0.41, -0.44 et -0.44. Les canards hinnies et mulards présentaient des valeurs intermédiaires pour tous ces paramètres.

Conclusion

Cette étude a montré qu'il existait des différences importantes entre les différents génotypes tant pour les mesures histologiques que biochimiques. Une surcharge alimentaire a induit des modifications de composition biochimiques du muscle pectoral mais également une augmentation de la surface occupée par les adipocytes.

Références

- Cazeils J.L., Bouillier-Oudot M., Auvergne A., Candau M., Babile R. 1999. *Lipids*, 34 (9), 937-942.
- Chartrin P., Schiavone A., Bernadet M.D., Guy G., Mourot J., Duclos M.J., Baéza E. 2004. *Reprod. Nutr. Dev.*, soumis à publication.
- Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H., 1957. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
- Hermier D., Guy G., Guillaumin S. 2000. 4èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Arcachon (France), 4-5/10/00, 55-58.
- Mares P., Ranny M., Sedlacek J., Skorepa J., 1983. *J. Chromatography*, 277, 295-305.
- Morrisson W. R., Smith M. L., 1964. *J. Lipid Res.*, 5, 600-608.
- Zanusso J., Rémignon H., Guy G., Manse H., Babilé R. 2003. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43, 105-115.

EFFET D'UN RÉGIME À BASE DE GLANDS DE CHÊNE VERT SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DES LIPIDES DU TISSU MUSCULAIRE DE LA CUISSE DE POULET DE CHAIR

BOUDEROUA K. ¹, SELSELET-ATTOU G. ¹, MOUROT J. ²

¹ Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition, Université de Mostaganem, BP 300 Mostaganem, Algérie.

² Unité Mixte de recherche sur le Veau et le porc, INRA de Saint-Gilles, 35590, France.

Introduction

De nos jours, le désir de l'homme de réduire ses apports lipidiques est grand pour se prémunir contre les maladies cardiovasculaires. La couverture des besoins lipidiques est assurée par des produits naturellement riches en lipides insaturés tels que les poissons et les huiles ou des produits enrichis en acides gras polyinsaturés, comme les viandes de poulets. Ainsi, le choix de la source lipidique est nécessaire dans l'alimentation du poulet. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de régime à base de glands de chêne, naturellement riches en acides gras insaturés, sur la composition musculaire en acides gras de viandes de poulets.

Matériels et méthodes

Des poulets de chair de souche ISA (40 poulets pour chaque régime) sont nourris dès la naissance jusqu'à 14 jours avec un régime standard, (3100 kcal/kg, 22% de protéines). La distribution des régimes expérimentaux à base de glands de chêne vert et du témoin est effectuée à partir de 15^{ème} jour et jusqu'à 56 jours, soit après une durée d'engraissement de 6 semaines. Le gland de chêne vert et le maïs sont incorporés à 67 % respectivement dans le régime expérimental et le témoin. La teneur lipidique du régime gland est de 4.18% contre 3.33% pour le standard. Les acides gras dominants dans le régime à base de glands sont le C16 :0 (16.05%), C18 :1 (30.59%), C18 :2(43.22%) et le C18 :3 (5.44% contre 3.17% pour le témoin). A l'âge de 8 semaines, 10 animaux de chaque régime, sont pesés et sacrifiés. Les prélèvements d'échantillons du tissu musculaire (cuisse) sont conservés à -20°C pour analyse ultérieures. Les lipides du tissu musculaire sont extraits par le mélange chloroforme-méthanol (2V:1V) selon la méthode de Folch et al., (1957). Les extraits lipidiques sont préalablement saponifiés par la soude, puis méthylés selon la méthode au méthanol-trifluorure de bore (Morisson et Smith, 1964). Les esters méthyliques d'acides gras sont ensuite analysés en chromatographie en phase gazeuse.

Résultats et discussions

Les poids vifs des poulets consommant le régime témoin sont significativement supérieurs de 9% ($p < 0.01$) à ceux du régime à base de glands de chêne vert. De même, la proportion du tissu adipeux abdominal des animaux témoins apparaît deux fois plus élevée ($p < 0.01$) que celui des poulets nourris par le régime à base de glands de chêne vert (tableau 1). Cette différence persiste même lorsque la proportion du tissu adipeux est rapportée au poids de la carcasse.

Tableau 1. Performances de croissance et paramètres de carcasses

	Témoin	Gland de chêne vert	Effet
Poids vifs (g)	2863.0 ± 97.3	2625.1 ± 261.8	<0.01
Tissu adipeux abdominal (g)	50.0 ± 7.7	25.6 ± 3.3	<0.01
% de la carcasse éviscérée	2.4 ± 0.1	1.3 ± 0.0	<0.01
Lipides totaux (g/ 100g de Tissu adipeux)	66.5 ± 4.3	63.7 ± 9.2	NS

Les poulets nourris au régime maïs engendrent des poids vifs et des tissus adipeux similaires à ceux rapportés par d'autres auteurs (Pikul, 1985; Legrand et al., 1987). En revanche, les animaux ayant reçu de l'aliment gland présentent des tissus adipeux nettement plus faibles ($p < 0.01$), marquant une lipogénèse réduite. Les proportions en acides gras du muscle (tableau 2) mettent en évidence une prédominance des acides palmitique, oléique et linoléique. Ce dernier est en proportion importante chez les animaux nourris aux glands de chêne vert par rapport au régime standard, ($P < 0.001$; 17.25 vs 13.95 %). L'acide oléique est aussi mieux représenté dans le muscle des animaux consommant le gland ($p < 0.05$), alors que l'acide palmitique est en proportion comparable pour les animaux des deux régimes. L'acide palmitoléique serait plus important dans le muscle des viandes de poulets témoins comparativement au régime gland (7.2 vs 6.23%), mais la différence n'est pas significative. La proportion d'acide linoléique ne dépasse guère les 2%, et ne présente pas de différence significative entre les régimes. D'une manière générale, la proportion des acides gras monoinsaturés et polyinsaturés sont dans des pourcentages équivalents dans les muscles des régimes à base de gland et de maïs. Toutefois, les acides gras saturés apparaissent sensiblement supérieurs dans le muscle du poulet nourri au régime standard-maïs ($p < 0.02$).

Tableau 2. Composition en acides gras du muscle de la cuisse du poulet (en % des acides gras identifiés)

Régimes	Témoin	Gland de chêne vert	Effet du régime
Lipides totaux (g/100g de muscle)	1.42 ± 0.6	1.89 ± 0.69	P<0.01
C18:1(n9)	32.7 ± 4.7	38.0 ± 5.8	<0.05
C18:2(n6)	13.9 ± 2.2	17.2 ± 1.3	<0.001
C18:3(n3)	1.9 ± 1.1	1.4 ± 0.3	NS
C20:3 (n3)	0.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1	<0.06
C20:4(n6)	2.4 ± 1.1	1.2 ± 0.3	NS
C20:5(n3)EPA	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.3	NS
C22:5 (n3)	0.8 ± 0.3	0.3 ± 0.2	<0.03
C22:6(n3)DHA	0.5 ± 0.2	0.3 ± 0.2	NS
Σ AGPI/ Σ AGS	0.6	0.7	
Σ (n-6) / Σ (n-3)	4.2	7.2	

Les proportions en acides palmitique, stéarique et oléique dans le muscle sont indépendantes de la composition en acides gras des régimes bien que leurs teneurs varient largement dans le muscle. On peut remarquer la grande proportion d'acide linoléique dans le muscle des animaux consommant du gland de chêne vert par rapport au régime maïs: 17.25 vs 13.95% respectivement. Cette teneur est supérieure à celle rapportée chez le poulet nourri avec des régimes enrichis en huile de poisson (14.2%), et inférieure à celle obtenue avec des régimes enrichis en huile de lin (23.8%) (Ratnayake et al., 1989; Ajuyah et al., 1991). De même, la proportion élevée en acides gras saturés dans le muscle des animaux témoins (35 vs 31%, p<0.02) explique globalement la forte activité de la lipogenèse hépatique des lipides comparée au régime à base de glands de chêne vert. Il apparaît clairement que les poulets nourris aux glands, reçoivent donc un amidon peu ramifié et donc peu de substrat nécessaire à la synthèse des lipides (Mourot et Hermier, 2000). L'acide linoléique, dans ce cas, sera directement déposé dans le muscle. Des observations analogues ont été rapportées sur le tissu adipeux (Bouderoua et Selselet-Attou, 2003).

Il est également possible que la présence de l'acide linoléique (C18: 3) en quantité non négligeable dans le régime du gland de chêne (5.44 vs 3.17%) participe pour une part à la réduction de la synthèse des acides gras. Ces observations ont déjà été rapportées par plusieurs auteurs (Lessire, 2001 ; Mossab, 2000; Mourot et Hermier, 2000) chez le poulet et la dinde.

Conclusion

L'incorporation de glande de chêne vert a permis d'enrichir la viande en acides oléique et linoléique, comparables à ce qui est rapporté par les travaux portant sur l'enrichissement de la viande de poulet par des lipides insaturés contenus dans certaines huiles végétales tel que le colza et le tournesol et également l'huile de poisson.

Références bibliographiques

- Ajuyah A. O., Lee K.H., Hardin R.T., Slim J.S., *Poult. Sci.*, 70 (1991), 2304-2314.
 Bouderoua K., Selselet-Attou G., *Anim. Res.*, 52(2003), 377-382.
 Folch J., Lees M., Sloane-Stanely G.H., *J. Biol. Chem.*, 233(1957), 311-320.
 Legrand P., Mallard J., Bernard-Griffiths M.A., Douaire M., Lemarchal P., *Comp. Biochem. Physio.*, 87B(1987), 789-792.
 Lessire M., *INRA Prod. Anim.*, 14(2001), 365-370.
 Morisson W.R., Smith L.M., *J. Lipid Res.*, 5(1964), 600-608.
 Mossab A., Lessire M., Hallouis J.M., Hermier D., 14th European symposium on the quality of poultry meat., 1999/09/19-23, Italian
 Mourot J., Hermier D., *Reprod. Nutr. Dev.*, 41(2001), 109-118.
 Pikul J., *Poult. Sci.* 64(1985), 469-475.
 Ratnayake W.M.N., Ackman R.G., Hulan H.w., *J. Sci. Food Agric.*, 49(1989), 59-74.

EFFET DU MODE D'ELEVAGE SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA CARCASSE ET CELLES DU MUSCLE DU PORC LOCAL DU BENIN.

YOUSSAO A.K.I.¹, MOUROT J.², EDENAKPO A.¹ ROBIN G.², MOUNIER A.²

¹ Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi – Département PA, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

² INRA, Unité Mixte de Recherche sur le Veau et le Porc 35590 Saint Gilles – France.

Introduction

Le porc local du Bénin est caractérisé par une hauteur au garrot de 35 cm, une petite tête qui se prolonge d'un groin allongé, des oreilles petites et dressées, parfois rejetées en arrière, et un jambon plat. La robe est généralement noire avec des extrémités blanches à ceinture blanche. C'est un animal rustique à croissance lente avec un poids à la naissance d'environ 0,64 kg et un poids adulte d'environ 45 kg, correspondant à un âge de 2 ans (D'Orgeval, 1997 ; Uko, 1994). Son poids vif au sevrage (7 à 8 semaines d'âge) est compris entre 5 et 6 kg (D'Orgeval, 1997 ; Uko, 1994 ; Codjo, 2003). Le mode d'élevage de ce porc est généralement de type traditionnel, basé sur la divagation des animaux. Toutefois, les élevages semi-améliorés se rencontrent en zone périurbaine. La productivité du porc local du Bénin est donc tributaire des ressources alimentaires en quantité et en qualité. Pour l'optimiser, l'engraissement constitue une méthode d'élevage de choix. Le but de cette étude est de comparer l'effet de deux modes d'alimentation (traditionnel vs amélioré) sur les caractéristiques de la carcasse et celles de la viande du porc local du Bénin à l'engrais.

Matériel et méthodes

Vingt-quatre porcs (12 mâles et 12 femelles) âgés de 62 jours et pesant en moyenne $5,7 \pm 0,55$ kg ont été utilisés dans cette étude. Les animaux sont répartis en 6 lots constitués de 3 lots de 4 porcs mâles et 3 lots de 4 porcs femelles, puis élevés en station d'engraissement de l'école Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) à l'aide de deux rations alimentaires R1 (15,65 MJ ED / kg de MS et 17,8% de MAT) et R2 (15,62 MJ ED / kg de MS et 15,6% de MAT) et en élevage traditionnel RT (19,35 MJ ED / kg de MS et 13,4% de MAT environ). Les rations R1 et R2 ont été distribuées *ad libitum* et sont composées de : maïs, son de maïs, son de blé, tourteau de soja, farine de poisson, sel de cuisine, phosphate bicalcique, des concentrés minéraux et vitaminés et quelques acides aminés essentiels. En élevage traditionnel, la ration est à base de son de blé et de tourteau de palmiste, complété parfois par des résidus de cuisine et sa composition et sa distribution sont tributaires de la disponibilité des ingrédients. Chacune des rations alimentaires a été distribuée à un lot de mâles et à un lot de femelles sur une période de 6 mois.

La veille de l'abattage, les animaux ont été d'abord pesés et ensuite mis à jeun et transportés à l'abattoir de Cotonou où ils ont été abattus et conservés dans une chambre froide à 4 °C pendant 24 h. A l'abattage, la longueur de la carcasse et les épaisseurs du lard dorsal au niveau du cou, de la dernière côte thoracique et de la croupe ont été mesurées. Le rendement à l'abattage a été calculé par le rapport entre le poids de la carcasse pesé le lendemain de l'abattage et le poids vif final, avant la mise à jeun. La découpe a été pratiquée sur la demi-carcasse gauche le lendemain matin de l'abattage suivant la procédure décrite par Desmoulin et al. (1988). La proportion de morceaux maigres est égale à la somme des pourcentages de l'épaule, du carré et du jambon, tandis que la proportion de morceaux gras concerne outre la bardière et la paroi ventrale, le collier. Le pH obtenu 1 heure après l'abattage (pH1) a été mesuré sur le muscle *Longissimus thoracis* (LT), au niveau de la dernière côte, suivant la procédure décrite par Renou et al. (1985). Le pH ultime (pH24) a été mesuré directement sur la carcasse dans le même muscle. L'analyse de la qualité de la viande a été faite sur le muscle LT au niveau des 12ème et 13ème côtes. La capacité de rétention d'eau a été calculée selon la méthode de Honikel (1987). Les lipides totaux ont été extraits sur la viande fraîche et les tissus adipeux, selon la procédure décrite par Folch et al. (1957). Le profil des acides gras a été réalisé par chromatographie selon la méthode décrite par Morisson et Smith (1964). Chaque échantillon de viande fraîche a été broyé et lyophilisé pour déterminer le pourcentage de matière sèche. Il a été ensuite moulu pour le dosage de l'azote total par la méthode de DUMAS (AOAC 7 024). Les données ont été analysées par la procédure GLM du SAS (1989) en utilisant l'alimentation et le sexe comme effets fixes. Les moyennes moindres carrés ont été ensuite estimées et comparées par le test de t.

Résultats et discussion

Les résultats de cette étude sont donnés au tableau 1. Les caractéristiques de la carcasse des porcs nourris avec les rations R1 et R2 sont comparables, mais diffèrent fortement de ceux des porcs nourris avec la ration RT. Ainsi, le poids de la carcasse des animaux nourris avec les rations R1 et R2 est environ 2 fois plus élevé que celui des porcs nourris avec les rations RT ($P < 0,001$). La longueur et le rendement de carcasse des porcs nourris aux rations R1 et R2 sont 1,2 fois plus élevés que ceux des porcs nourris avec la ration RT ($P < 0,05$). L'épaisseur du lard dorsal (ELD) est plus importante chez les porcs nourris avec les rations R1 et R2 comparée à celle des porcs nourris avec la ration RT. La composition de la carcasse en morceaux maigres et en morceaux gras des porcs nourris avec les rations R1 et R2 est environ 2 fois plus importante ($P < 0,001$), comparée à celle des porcs nourris par les rations RT en termes de poids. Toutefois, elle est semblable en terme

de pourcentage. Ainsi, il ressort de notre étude qu'il est possible d'augmenter le rendement de carcasse tout en conservant le pourcentage de viande maigre. Des résultats similaires ont été obtenus par Codjo (2003) sur la même race. Contrairement au mode d'élevage traditionnel, la restriction de l'aliment en station pourrait améliorer la proportion de viande maigre et réduire le gras de couverture (Gondret et Lebret, 2002).

Une heure après l'abattage, le pH a peu varié d'un groupe à l'autre. Les animaux des lots R1 et R2 ont un pH 24 plus élevé que ceux des lots RT ($p < 0,05$). La viande des animaux des lots R1 et R2 a une capacité de rétention d'eau inférieure ($p < 0,05$) à celle des lots RT (22,1 %). Les animaux ayant reçu le régime R1 ont donné un pourcentage de matière sèche plus élevé que ceux des lots témoins ($p < 0,5$) alors que ceux des lots R2 ont donné une proportion intermédiaire qui ne diffère pas significativement des précédentes. Le pourcentage de protéines dans la matière sèche de la viande (85,8 à 88,7 %) a peu varié, il en a été de même pour les lipides totaux dans la viande fraîche (2,37 à 2,55 %) et dans le tissu adipeux (60,9 à 70,9). Selon Gondret et Lebret (2002), la teneur en lipide diminue lors de la restriction de l'aliment et augmente lorsque l'aliment est pauvre en protéine et en énergie. La viande des animaux des lots témoins ont un taux élevé ($P < 0,05$) d'acides gras saturés par rapport à celle des animaux élevés en station. Cette différence en acides gras saturés est certainement liée aux tourteaux de palmiste incorporé dans la ration témoins.

Tableau 1 : Effet du mode d'élevage sur les caractéristiques de la carcasse et celles de la viande du porc local du Bénin.

Variables	Mode d'élevage			Ecart type résiduel	Signification statistique
	Station (R1)	Station (R2)	Traditionnel (RT)		
Poids carcasse (kg)	17,9a	16,0a	8,0b	3,3	***
Rendement (%)	66,2a	62,6a	54,1b	5,8	**
Longueur (cm)	52,2a	49,9a	43,1b	3,8	***
Épaisseur du lard dorsal (mm) ¹	15,6a	18,6a	9,1b	0,4	***
Morceaux maigres (kg)	4,4a	3,8a	2,2b	0,8	***
Morceaux maigres (%)	51,1	48,9	53,2	4,4	NS
Morceaux gras (kg)	2,1a	1,9a	0,9b	0,5	***
Morceaux gras (%)	23,4	23,8	22,5	4,9	NS
pH 1 h	6,20	6,08	6,18	0,2	NS
pH 24 h	5,84a	5,81a	5,63b	0,1	*
Capacité rétention d'eau (%)	16,4a	18,7ab	22,1b	5,8	*
Protéines du long dorsal (%)	88,3	88,1	85,4	4,7	NS
Matière sèche du long dorsal (%)	27,6a	26,9ab	25,8b	1,5	*
Lipides du long dorsal (%)	2,5	2,2	2,4	0,9	NS
Lipides du tissu adipeux (%)	66,9ab	70,9a	60,9b	8,6	*
∑ acides gras saturés (%)	39,92a	40,46a	43,04b	2,2	*
∑ acides gras monoinsaturés (%)	39,40a	42,17a	35,89b	2,6	*
∑ acides gras polyinsaturés (%)	20,62	17,32	21,04	3,2	NS

Les moyennes intraclasse suivies des lettres différentes sont significativement différentes ; NS : $P > 0,05$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ¹ moyenne des trois épaisseurs mesurées (cou, dernière vertèbre thoracique et croupe).

Conclusion

Cette étude a montré qu'il est possible d'augmenter le rendement de carcasse et le poids des morceaux maigres tout en conservant le pourcentage de viande maigre, le pourcentage de viande grasse et la teneur en lipides totaux. La viande des porcs engraisés en élevage traditionnel a un pH ultime faible et une capacité de rétention d'eau élevée. L'utilisation du tourteau de palmiste dans l'alimentation augmente la teneur en acides gras saturés dans la viande.

Bibliographie

- Codjo A.B. 2003. *Tropicultura*, 21, 2, 56-60.
D'Orgeval Dubouchet, R., 1997. Thèse de doctorat de l'Institut national agronomique, Paris Grignon, 273 p.
Desmoulin B., Ecolan M., Bonneau M., 1988. *INRA Prod. Anim.*, 1 : 59 – 64.
Folch J., Lee M., Slonne Stanley G.H., 1957. *J. Bio. Chem.*, 226, 497-509.
Gondret F., Lebret B., 2002. *J. Anim. Sci.*, 80, 3184-3193.
Honikel K.O., 1987. In: V.G. Tarrant (Editor). *Martinus Nijhoff Pub*, Den Haag, 129-142.
Morrison W.R., Smith L.M., 1964. *J. Lipid. Res.*, 5, 600-608.
Renou J.P., Monin G., Sellier P., 1985. *Meat science*, 15, 225-233.
Uko OJ., Ataya A.M., Babatundé G.M., 1994. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 47, 329-332.

CATECHOLAMINES ET RELATION AVEC LES QUALITES DES VIANDES DE PORC : ROLES DU TYPE GENETIQUE, DU MODE D'ELEVAGE ET DES CONDITIONS D'ABATTAGE.

BERNE A., ASTRUC T., HAYE E. et TERLOUW C.

Unité de Recherche sur la Viande, INRA de Theix, 63122 St-Genès-Champanelle

Introduction

Les conditions d'abattage sont susceptibles d'influencer le métabolisme post mortem du muscle de porc. Par exemple, les combats pendant le mélange des porcs diminuent la quantité de glycogène musculaire avant l'abattage. Les catécholamines dont la sécrétion est stimulée par l'effort physique et par le stress psychologique exacerbent l'effet de l'effort physique sur la dégradation du glycogène (Fernandez et al., 1994 ; Febbraio et al., 1998). L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence du taux de catécholamines et des combats sur la teneur en glycogène musculaire avant l'abattage et sur le pH ultime (pHu) des viandes. Le mode d'élevage et le type génétique peuvent influencer la réactivité des animaux au stress d'abattage et sont utilisés comme facteurs de variation.

Matériels et méthodes

Trente porcs croisés Large White (LW) et 54 porcs croisés Duroc (D) (équilibré mâle - femelle) ont été élevés par groupes de 6 dans des cases (caillebotis, 6.3m²) en bâtiments fermés ou en plein air (parcelles de 850m²) sur 2 années consécutives (avril - octobre, 2002 et 2003) selon un plan d'expérience partiellement équilibré pour la race. Des prélèvements d'urine ont été réalisés sur les porcs élevés à l'intérieur afin de déterminer les taux de base de catécholamines (adrénaline et noradrénaline) au repos (absence de prélèvements sur les porcs extérieurs pour des raisons pratiques). A un poids d'environ 150Kg, la moitié de l'effectif a été mélangé pendant 1H30 et convoyé à l'abattoir (30 min de chargement, 30 min de transport) la veille de l'abattage (groupe mélange/attente). L'autre moitié n'a pas été mélangée et a été abattue immédiatement après leur arrivée à l'abattoir (30 min de chargement, 30 min de transport ; groupe non mélange/non attente). Tous les porcs ont subi un jeûne de 22H avant l'abattage. Des observations du comportement ont été réalisées à l'abattoir pour le groupe mélange/attente (1 heure après l'arrivée, 30 min avant l'abattage). Après l'abattage, le glycogène, le lactate et le pH (à 45 min et 24H *post mortem*) ont été mesurés sur le *Longissimus lumborum* (LL), le *Semispinalis capitis* (SC) et le *Semimembranosus* (SM). Le potentiel glycolytique ([lactate]+2x[glycogène]; PG) a été calculé. Cette valeur est représentative de la teneur en glycogène dans le muscle avant la saignée (glycogène à l'abattage) (Monin et Sellier, 1985). Les catécholamines libérées dans le sang sont éliminées dans l'urine en 10 min ou plus (Terlouw et al., 2001). Afin d'évaluer leur niveau, des échantillons d'urine ont été prélevés directement dans la vessie après la saignée. Le nombre de meurtrissures dues aux combats a été évalué sur les carcasses selon une échelle pré-établie (Barton-Gade, 1996). Les données ont été traitées par analyse de variance, par des corrélations selon Pearson (vérifiée par des corrélations selon Spearman) et par des régressions multiples progressives ascendantes. Les taux de catécholamines sont exprimés en ng/mg de créatinine. Les moyennes \pm erreurs standards à la moyenne sont présentées.

Résultats et discussion

La comparaison des taux d'hormones entre l'élevage et l'abattage a été effectuée uniquement sur les porcs élevés à l'intérieur. Sur l'ensemble des données des porcs intérieurs (années, races confondues) le taux de noradrénaline en élevage ($74,0 \pm 9,24$) est supérieur à celui à l'abattage ($30,7 \pm 4,46$; $p < 0,01$). Cette réduction peut être liée au jeûne précédant l'abattage comme l'ont montré des études sur l'homme (Young et al., 1984) et le porc (Hay et al., 2000). Cet effet est inversé pour l'adrénaline (élevage: $11,9 \pm 1,13$; abattage: $20,4 \pm 3,70$; $p < 0,01$). Cette augmentation dépend toutefois de la race. A l'abattage aucune augmentation n'est observée pour les LW par rapport à l'élevage (élevage: $13,8 \pm 2,23$; abattage: $13,9 \pm 3,51$; $p = 0,5$), à la différence des D, quelle que soit l'année d'expérimentation (élevage: $10,8 \pm 1,23$; abattage: $24,3 \pm 5,39$; $p < 0,01$). Le taux d'adrénaline en élevage plus faible en 2003 ($7,72 \pm 0,75$) qu'en 2002 ($16,0 \pm 1,68$; $p < 0,01$) pourrait s'expliquer par les températures très élevées pendant l'élevage de 2003 (jusqu'à 40°C en juillet et août ; Kruse et al., 2002).

L'analyse de l'ensemble des données (porcs intérieurs et extérieurs) montre l'absence d'effets du type génétique et des conditions d'élevage et d'abattage sur la noradrénaline. Pour l'adrénaline on observe chez les D un taux plus élevé ($24,7 \pm 3,04$) que chez les LW ($14,8 \pm 2,5$; $p < 0,01$). Cet effet est significatif pour 2002 (D: $34,1 \pm 6,25$; LW: $15,7 \pm 3,06$; $p < 0,01$) et montre une tendance pour 2003 (D: $18,1 \pm 1,43$; LW: $11,7 \pm 3,03$; $p = 0,07$). La plus grande différence raciale en 2002 s'explique en partie par le taux élevé d'adrénaline des D du groupe non mélange/non attente ($52,5 \pm 6,59$) par rapport au D du groupe mélange/attente ($20,96 \pm 5,75$; $p < 0,01$). Pour les LW en 2002 et 2003, et pour les D en 2003, les conditions d'abattage n'influencent pas le taux d'adrénaline. Le taux relativement bas chez les porcs qui ont passé la nuit à l'abattoir résulte probablement de leur faible activité. Soixante-huit pourcents du groupe mélange/attente étaient couchés 45 min après l'arrivée, et 88% l'étaient 15 min avant l'abattage. Les interactions agressives étaient rares après l'arrivée et quasi absentes le matin. L'augmentation du taux d'adrénaline chez les D transportés immédiatement avant l'abattage en 2002

résulte probablement des effets du chargement et du convoyage. L'absence d'un tel effet en 2003 suggère une moindre réactivité des D cette année, malgré un protocole identique.

En accord avec d'autres études (Lawrie, 1966 ; Bendall, 1973), le glycogène à l'abattage et le pHu sont corrélés négativement pour les 3 muscles des deux races (par exemple, LL : $r = -0,48$; $p < 0,01$ et $r = -0,66$; $p < 0,01$; pour les D et LW respectivement). Pour les trois muscles des porcs du groupe mélange/attente, le taux de glycogène à l'abattage est négativement corrélé avec le niveau de meurtrissures (par exemple LL : $r = -0,32$; $p = 0,02$ et $r = -0,40$; $p < 0,03$; pour les D et LW respectivement). Cette corrélation s'explique sans doute par l'effort physique fourni lors des combats, produisant une perte de glycogène musculaire (Fernandez et al., 1994). Les taux d'adrénaline ne sont pas corrélés avec les notes de meurtrissures. Ceci suggère qu'ils sont influencés par d'autres facteurs que les combats ; probablement par l'ensemble des manipulations précédant l'abattage. Le glycogène à l'abattage est corrélé négativement avec les taux d'adrénaline pour le LL ($r = -0,61$ et $p < 0,01$) et le SC ($r = -0,52$ et $p = 0,02$) des LW uniquement.

Tableau 1: Modèles retenus par des régressions multiples entre le pHu des trois muscles et l'adrénaline, le niveau des meurtrissures et le glycogène avant l'abattage, pour les 2 types génétiques. Le glycogène n'a pas été retenu par le modèle.

PHu	D		LW	
	Régression simple			
Variables explicatives:	r ajusté	p	r ajusté	p
LL - meurtrissures	0,55	0,001		
SC - meurtrissures	0,62	0,001	0,83	0,001
SM - meurtrissures	0,61	0,06		
Régression multiple				
LL:				
- adrénaline			0,65	0,001
meurtrissures			0,34	0,03
SM:				
- adrénaline			0,53	0,001
- meurtrissures			0,47	0,005

Des régressions multiples ont été effectuées pour chaque race séparément afin d'expliquer les variations de pHu en termes de niveau de meurtrissures, de glycogène à l'abattage et d'adrénaline (Tableau 1). Pour le LL et le SM des LW, les meurtrissures et le taux d'adrénaline sont retenus dans le modèle, expliquant 53,5 et 50,5% de la variabilité, respectivement. Pour le SC, seul le niveau de meurtrissure est retenu, expliquant 68,6% de la variabilité. Pour les D, les pHu sont corrélés avec les meurtrissures uniquement ; expliquant 30,7 (LL), 37,2 (SM) et 38,3 % (SC) de la variabilité. L'adrénaline exacerbe les effets de l'effort physique sur le glycogène musculaire (Fernandez et al., 1994 ; Febbraio et al., 1998). L'absence d'effet des taux d'adrénaline sur le glycogène et sur le pHu chez les D peut être liée aux caractéristiques métaboliques de cette race. Leurs taux de lipides sous-cutanés et intramusculaires plus élevés (Blasco et al., 1994) peuvent être associés à une prédominance relative d'un métabolisme lipidique. La corrélation moins forte entre l'adrénaline et le pH pour le SC des LW peut s'expliquer par sa teneur moins forte en glycogène (68 $\mu\text{mol/g}$), que les LL (118 $\mu\text{mol/g}$) et SM (114 $\mu\text{mol/g}$). Par conséquent, le glycogène est le principal facteur limitant pour la chute du pH dans ce muscle. La plus forte corrélation entre les pHu avec les meurtrissures qu'avec le glycogène à l'abattage pour les deux races (à l'exception du SM des D) peut traduire que le niveau des combats influence à la fois la consommation de glycogène musculaire et l'activité métabolique des cellules musculaires (enzymes, composés phosphorylés) qui tous deux se répercutent sur le pHu.

Conclusion

Le niveau de meurtrissures liées aux combats est fortement corrélé avec les pHu des trois muscles des deux races. Les D ont une réactivité adrénérgique à l'abattage plus importante que les LW. Chez les LW, l'adrénaline exerce un effet significatif sur le pHu, surtout sur les muscles plutôt blancs (LL, SM). Pour cette race, le taux d'adrénaline et le niveau de meurtrissures expliquent plus de 50 % de la variabilité des pHu de ces muscles. Ces observations suggèrent que l'amélioration des conditions d'abattage, en particulier les conditions de mélange et la qualité des manipulations, permettrait une meilleure maîtrise du pHu.

Références bibliographiques

- Barton Gade P.A., Warriss P.D., Brown S.N., Lambooj E.; (1996). Sonderheft 166, Mariensee, Germany, 23-34.
 Bendall, J.R.; 1973. Academic Press, New York.
 Blasco A., Gou P., Gispert M., Estany J., Soler Q., Diestre A., Tibau J.; 1994. Product. Sci. 40:171-178.
 Febbraio M. A., Lambert D. L., Starkie R. L., Proietto J., Hargreaves M.; 1998. J. Appl. Physiol. 84, (2): 465-470.
 Fernandez X., Meunier-Salaun M.C., Mormède P.; 1994. Physiol. Behav. 56:841-847.
 Hay M., Meunier-Salaun M.C., Brulaud F., Monnier M., Mormède P.; 2000. J. Anim. Sci. 78(2):420-8.
 Kruse H.J., Wiczorek I., Hecker H., Creutzig A., Schellong S.M.; 2002. J. Lab Clin. Med.140(4):236-41.
 Lawrie R.E., Briskey E.J., Cassens R.G., Trautman J.C.; 1966. University of Wisconsin Press, Madison, Wis.
 Monin G., Sellier P.; 1985. Meat Sci. 13: 49-63.
 Terlouw C., Ludriks A., Shouten W., Vaessen S., Fernandez X., Andanson S., Pere M.C.; 2001. VPC. 22, (5).
 Young J.B., Rosa R.M., Landsberg L.; 1984. Am J Physiol. 247(1 Pt 1):E35-40.

Remerciements :

Les auteurs remercient B. Aubard, F Cinquin et C Pontet (LEGTA, Roanne), J.Y. Tixier et J. Thevenet (Abattoir Charlieu) pour leurs contributions.

QUALITE NUTRITIONNELLE DES LIPIDES DE VIANDES : ECART LIES A L'ESPECE, ECARTS LIES A L'ALIMENTATION : QUELQUES OBSERVATIONS.

CHESNEAU G., QUEMENER B., WEILL P.

Valorex 35210 Combourtille. Pierre.weill@valorex.com

Introduction

La communication nutritionnelle autour des viandes est un terrain où les idées reçues dominant souvent la réalité analytique. Il est plus souvent fait état de différences inter-espèces pour qualifier la qualité nutritionnelle des viandes, plutôt que de différences intra-espèces liées par exemple au morceau considéré, ou à l'alimentation des animaux. Nous avons utilisé des données issues d'essais intra – espèce, concernant des animaux nourris de façon standard, représentative de l'espèce (groupes témoin) ou nourris avec un ajout de 5% de graines de lin extrudées (groupes essai) puis nous avons comparé ces données entre elles.

Matériels et Méthodes

Des essais visant à améliorer la qualité nutritionnelle des principales viandes consommées ont été conduits sur des porcs charcutiers, des jeunes bovins de race Charolaise recevant une ration à base de fourrages, des jeunes bovins de race Blonde recevant une ration à base de concentrés, des lapins, et des poulets.

Dans tous ces essais les animaux du groupe « témoin » (10 individus « témoin » et 10 individus « essai » par espèce) étaient élevés et nourris de la façon la plus représentative des pratiques habituelles d'élevage. Les animaux des groupes « essai » ne différaient des groupes « témoin » que par l'apport dans les régimes d'une quantité (5% en moyenne) de graines de lin extrudées dans leurs régimes. Les régimes étaient iso-protéiques et iso-vitaminiques.

Des échantillons des muscles les plus couramment consommés (Cuisse pour poulets et lapins, muscle long dorsal pour porcs et bovins) ont ensuite été préparés en retirant la graisse externe, pour ne conserver que les lipides intra -musculaires. Nous avons ensuite procédé à une extraction / quantification des lipides, puis à un profil d'acides gras (AG) en chromatographie phase gazeuse.

Les données issues des différents essais ont été comparées entre elles par la méthode d'analyse de variance (procédure ANOVA).

Principaux résultats

Taux de lipides intra-musculaires (%)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet
Témoin	3,2 ± 1,2	3,1 ± 1,2	1,7 ± 0,4	3,3 ± 1,0	5,3 ± 1,9
Essai « lin »	3,7 ± 2,0	3,3 ± 1,0	2,2 ± 0,8	3,7 ± 2,2	6,0 ± 2,5
<i>Effet régime</i>	NS	NS	NS	NS	NS

Taux d'acides gras Monoinsaturés (% des AG totaux)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	<i>Effet espèce</i>
Témoin	42,9 ± 2,3	41,4 ± 2,3	43,0 ± 1,4	30,5 ± 1,1	43,8 ± 6,1	P<0,001
Essai « lin »	43,9 ± 2,0	41,7 ± 2,2	44,0 ± 3,4	28,7 ± 1,2	41,2 ± 4,7	P<0,001
<i>Effet régime</i>	NS	NS	NS	P<0,08	P<0,12	

Taux d'acides gras saturés (% des AG totaux)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	<i>Effet espèce</i>
Témoin	48,4 ± 1,6	46,7 ± 3,0	39,0 ± 1,5	39,8 ± 2,1	30,1 ± 1,5	P<0,001
Essai « lin »	47,1 ± 1,7	45,2 ± 1,0	37,9 ± 1,7	36,6 ± 1,7	26,6 ± 3,8	P<0,001
<i>Effet régime</i>	P=0,14	NS	NS	P<0,03	P<0,10	

Taux d'acide palmitique C16 :0 (% des AG totaux)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	<i>Effet espèce</i>
Témoin	25,6 ± 2,5	22,4 ± 2,7	24,2 ± 1,1	26,7 ± 0,2	21,8 ± 1,5	P<0,001
Essai « lin »	24,3 ± 1,7	20,7 ± 1,3	23,7 ± 1,1	23,7 ± 1,2	19,1 ± 3,8	P<0,001
<i>Effet régime</i>	NS	P<0,10	NS	P<0,01	P<0,12	

Taux d'acides gras Oméga 6 (% des AG totaux)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	Effet espèce
Témoin	7,1 ± 2,0	10,0 ± 3,1	16,3 ± 2,5	26,1 ± 0,2	23,8 ± 5,8	P<0,001
Essai « lin »	6,3 ± 1,7	8,8 ± 1,8	14,5 ± 3,6	24,6 ± 5,0	27,1 ± 1,6	P<0,001
Effet régime	P<0,04	P<0,001	NS	NS	NS	

Taux d'acides gras Oméga 3 (% des AG totaux)

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	Effet espèce
Témoin	0,8 ± 0,2	1,0 ± 0,2	1,5 ± 0,3	3,9 ± 0,1	2,3 ± 0,7	P<0,001
Essai « lin »	1,5 ± 0,3	2,1 ± 0,4	3,3 ± 0,7	7,7 ± 1,2	8,2 ± 2,5	P<0,001
Effet régime	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	

Rapport Oméga 6 / Oméga 3

	Jeune bovin Charolais	Jeune bovin Blond	Porc	Lapin	Poulet	Effet espèce
Témoin	8,5 ± 0,7 a	10,5 ± 1,2 b	10,3 ± 1,4 b	6,8 ± 1,9 c	11,5 ± 4,1 b	P<0,001
Essai « lin »	4,3 ± 0,4 a	4,2 ± 0,7 a	4,4 ± 0,7 a	3,6 ± 0,6 b	3,3 ± 0,6 b	P<0,001
Effet régime	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,001	

Discussion.

Différences de composition liées à l'espèce :

Les morceaux analysés sont comparables sur le plan des teneurs en lipides intra-musculaires.

Les teneurs en AG monoinsaturés sont toutes comprises entre 41 et 45% des AG totaux à l'exception du lapin (29 et 30%).

Les viandes de ruminant sont toujours plus riches en AG saturés (mais pas en acide palmitique C16 :0) que les viandes de monogastriques. A l'inverse, les viandes de poulet et de lapin, et dans une moindre mesure de porc sont toujours plus riches en AG n-6 que les viandes de ruminants.

Différences de composition liées à l'alimentation :

L'apport de graines de lin extrudées, riches en C18 :3 n-3 dans les régimes a tendance à faire baisser le taux d'AG saturés.

Le rapport entre les AG n-6 et les AG n-3 est influencé de façon très significative par l'alimentation. La viande du JB Blond « essai » présente une teneur en AG n-3 supérieure à celle du porc « témoin », et comparable à celle du poulet. Le porc « essai » présente lui une teneur en AG n-3 supérieure à celle du poulet « témoin » et comparable au lapin « témoin », etc...

Les viandes issues d'animaux nourries avec une fraction de graines de lin présentent toutes un rapport n-6 / n-3 compris entre 3,3 et 4,4, inférieur aux rapports des viandes témoin, quelle que soit l'espèce.

Conclusion

Pour atteindre les recommandations des ANC, les conseils des diététiciens portent souvent sur des substitutions de consommation de viande d'une espèce vers une autre, des viandes réputées grasses et/ou saturées vers les viandes réputées maigres et insaturées. Pourtant, si les différences liées à l'espèce existent, elles sont sans doute exagérément prises en compte alors que les différences liées à l'alimentation des animaux sont sous estimées, notamment sur le plan de l'équilibre entre les AG poly-insaturés (AGPI) des familles n-6 et n-3.

Références

- Wilfart A, Ferreira JM, Mounier A, Robin G, Mourot J., 2004. J. Recherche Porc, 36, 195-202.
Bougon M, Petetin I. 2000. AFSSA, BP 53, 22440 Ploufragan, France.
Vorin V, Mourot J., 2003, J. Recherche Porc 35, pp 251-256.
Ouhayoun J, Kopp J, Bonnet M, Demarne Y, Delmas D. 1987 Science des aliments, 7, 521-534.
Weill P, Schmitt B, Legrand P and coll. 2002, Ann. Nutr. Metab. 2002;46, pp 182-191
Legrand P, Bourre JM, Descomps B, Durand G, Renaud S. : 2001. « Lipides », in Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 2001, Chapitre 3, pp 63-82, 3^{ème} édition. Martin A AFSSA, CNERNA-CNRS, Ed Tec et Doc.

EFFET DE DIFFERENTES TENEURS EN ACIDE GRAS N-3 SUR LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE PORC.

WILFART A. (1) , FERREIRA J.(2), ROBIN G. (1) , MOUNIER A. (1) , MOUROT J. (1),

(1) INRA, Unité Mixte de Recherche sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles
(2) Departamento de tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem animal. Escola de Veterinária da Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, CEP 30123-970, Brazil

Introduction

Chez le porc recevant une alimentation standard, le rapport des acides gras (AG) $\omega 6/\omega 3$ de la viande est voisin de 11. Dans l'alimentation humaine ce rapport est actuellement de 15. Les apports nutritionnels conseillés (ANC 2001) préconisent une diminution des AG $\omega 6$ et une augmentation des $\omega 3$ pour tendre vers un rapport $\omega 6/\omega 3$ voisin de 5. La composition en AG de la viande de porc, comme celles de la plupart des animaux monogastriques est influencée par la nature des lipides alimentaires (Mourot et Hermier, 2001). Il est donc envisageable d'utiliser cette particularité pour améliorer la qualité nutritionnelle des viandes en introduisant dans l'alimentation animale des AG jugés bons pour la santé humaine. L'objectif est d'augmenter fortement la part des $\omega 3$ et notamment celle de l'acide α linoléique (α ALA C18 : 3, n-3) dans l'alimentation du porc pour obtenir une viande avec un rapport $\omega 6/\omega 3$ proche de 5. De plus, l'acide α linoléique est le précurseur d'AG jouant des rôles physiologiques importants comme l'EPA (C20:5 n-3) et le DHA (C22:6 n-3) (Legrand et Mourot, 2002). Notre étude a pour but de comparer l'effet de différents teneurs en acide α ALA sur la qualité nutritionnelle de la viande avant et après cuisson et de trouver ainsi de nouvelles sources d'Omega 3.

Matériel et méthodes

48 porcs (Large White x Landrace x Piétrain) répartis en 4 lots de 12 animaux ont reçu entre 45 et 105 kg des régimes isolipidiques et isoénergétiques (tableau 1) contenant des sources de lipides et des teneurs en $\omega 3$ différentes : huile de coprah (HC), huile de tournesol (HT), huile de colza (HCO) et graines de lin extrudées (GLE).

Tableau 1 : Composition et teneurs en acides gras des différents régimes expérimentaux

Régime	HC	HT	HCO	GLE	HC	HT	HCO	GLE
Composition en acides gras	%	%	%	%	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
AGS	40,5	17,5	17,5	16,7	11,3	4,5	4,0	4,3
AGM	15,3	18,3	18,3	18,9	4,2	4,7	7,5	4,9
AGPI	44,3	64,2	64,2	64,4	12,1	16,3	13,2	16,5
$\omega 6$	40,8	60,5	60,5	44,4	11,1	15,4	11,8	11,4
$\omega 3$	3,5	3,6	3,6	19,9	1	0,9	1,4	5,1

Les animaux ont été sacrifiés à un poids moyen de 105 kg (± 3 kg). Des prélèvements de muscle *Longissimus dorsi* (LD) ont été réalisés dans le but d'effectuer des analyses (lipides totaux, profil d'acides gras). Les lipides totaux ont été extraits à froid selon la méthode de FOLCH *et al.*, (1957) dans un mélange chloroforme-méthanol. Le profil en AG est réalisé par chromatographie en phase gazeuse après dérivation au trifluorure de Bore (BF3) selon la méthode de Morrisson et Smith (1964).

Résultats et discussion

1 Teneurs en lipides totaux et composition en acides gras de la viande crue

La teneur en lipides totaux dans le LD n'est pas affectée. Les régimes ont un effet variable sur la composition en AG. Le lot GLE présente le plus d'AG $\omega 3$ que ce soit sur la totalité des $\omega 3$ ($p < 0,001$) ou pour chaque AG $\omega 3$ ($p < 0,001$) (tableau 2) Le lot HT présente le plus $\omega 6$ et notamment de C18 : 2 n-6. Le rapport $\omega 6/\omega 3$ est le plus faible avec GLE ($p < 0,001$).

Tableau 2 : Effet des régimes sur la teneur en acides gras dans le muscle *Longissimus dorsi* cru

Acide gras (mg/100 g)	Régimes				Analyse statistique	
	HC	HT	HCO	GLE	RSD	Effet régime
AG saturés	415,3	517,4	537,9	596,5	207,3	NS
AG mono-insaturés	450,4	557,4	618,6	704,6	268,0	NS
AG poly-insaturés	190,0 ^a	242,1 ^{ab}	206,2 ^{ab}	255,9 ^b	50,6	$P < 0,02$
AG n-6	171,3 ^a	222,6 ^b	180,1 ^{ab}	206,0 ^{ab}	43,9	$P < 0,03$
AG n-3	16,5 ^a	17,1 ^a	23,1 ^a	46,5 ^b	7,9	$P < 0,001$
C20 : 5 n-3 EPA	1,7 ^a	2,0 ^a	2,8 ^a	5,2 ^b	1,5	$P < 0,001$
C22 : 6 n-3 DHA	1,6 ^a	1,7 ^{ab}	1,7 ^{ab}	2,4 ^b	0,7	$P < 0,03$
Rapport $\omega 6/\omega 3$	10,6 ^a	13,1 ^b	8,0 ^{ab}	4,5 ^{bc}	1,5	$P < 0,001$
Teneur en lipides totaux (%)	1,9	2,1	2,1	2,1	0,6	NS

Ainsi, l'incorporation de matières grasses riches en $\omega 3$ dans l'alimentation du porc a permis d'augmenter les dépôts d'acides gras $\omega 3$ dans les tissus. Il existe une variation du rapport $\omega 6/\omega 3$ en fonction du régime. En effet, ce rapport est très élevé avec le régime HT (très riche en $\omega 6$) et avec le régime HC. Le colza bien que riche en $\omega 3$, a un rapport élevé de par sa forte proportion en $\omega 6$. Seul le régime GLE permet de se rapprocher des propositions des ANC ($\omega 6/\omega 3 = 5$). La graine de lin extrudée semble une bonne alternative dans l'alimentation animale pour diminuer ce rapport et augmenter la teneur en $\omega 3$. Toutefois, les teneurs en DHA, et ce quel que soit l'échantillon considéré, ne semblent pas en relation avec la quantité d'acide α -linoléique ingérée, ce qui n'est pas le cas pour la volaille (Mossab *et al.*, 1999). Cette faible conversion confirme les observations de Emken *et al.*, (1994) et de Camara *et al.*, (1994) montrant que cette variation de composition peut-être attribuée sans doute à une différence de métabolisme lipidique.

2 Teneurs en lipides totaux et composition en acides gras de la viande cuite

Après cuisson sous vide, la teneur en lipides totaux du LD augmente. Ceci est dû à la perte en eau et en protéines qui entraîne une concentration des lipides dans la viande. L'effet thermique a entraîné des variations de teneurs des AG de la viande. On note des effets forts ($p < 0,001$) avec le régime GLE sur la somme des AGPI n-3, le C18 : 3 n-3, l'EPA, le C22 : 5 n-3, le DHA et le rapport $\omega 6/\omega 3$ (tableau 3). Le lot GLE a une teneur en AGPI n-3 la plus forte notamment en ce qui concerne EPA et DHA. C'est aussi celui qui a le rapport $\omega 6/\omega 3$ le plus faible ($\omega 6/\omega 3 = 4$).

Globalement, il y a une augmentation de tous les AG sauf l'EPA qui diminue pour les lots HT et HCO et le rapport $\omega 6/\omega 3$ qui diminue pour les HT et GLE. Nos résultats vont à l'encontre de ceux de Vorin *et al.*, (2002) qui avaient observé une diminution de l'acide linoléique et dans le même sens en ce qui concerne l'augmentation des n-3. Le lot GLE reste toujours le plus proche des ANC.

Tableau 3 : Effet des régimes sur la teneur en acides gras dans le rôti cuit (muscle *Longissimus dorsi*).

	Régimes				Analyse statistique	
	HC	HT	HCO	GLE	RSD	Effet régime
Lipides totaux (%)	2,6	3,3	2,8	2,9	0,9	NS
Acide gras (mg/100 g)						
AG saturés	602,8	795,0	607,5	801,2	250,6	NS
AG mono-insaturés	581,6	682,2	617,8	835,5	271,6	NS
AG poly-insaturés	277,8	293,2	263,2	316,0	43,4	NS
Coefficient d'insaturation	1,5	1,4	1,5	1,5	0,1	NS
AG n-6	251,8	269,0	234,7	252,3	40,5	NS
AG n-3	24,4 ^a	23,2 ^a	27,2 ^a	63,0 ^b	5,4	P<0,001
C20 : 5 n-3 EPA	2,1 ^a	1,5 ^a	2,5 ^a	8,7 ^b	0,8	P<0,001
C22 : 6 n-3 DHA	2,4 ^{ab}	2,1 ^{ab}	1,9 ^a	2,9 ^b	0,5	P<0,02
Rapport $\omega 6/\omega 3$	10,4 ^a	11,8 ^a	8,8 ^{ac}	4 ^b	1,4	P<0,001

Conclusion

Cette étude confirme qu'il est possible d'améliorer les qualités nutritionnelles de la viande par le biais de l'alimentation. Ainsi l'introduction dans le régime de matières grasses riches en AG $\omega 3$ permet d'enrichir la viande en acide α -ALA mais aussi en ses dérivés EPA et DHA. Cependant, des deux matières grasses riches en AG $\omega 3$ utilisées dans notre expérimentation, seule la graine de lin extrudée semble convenir pour obtenir un rapport d'acides gras $\omega 6/\omega 3$ proche de 5, valeur recommandée par les ANC. Le colza qui apparaissait comme une alternative aux graines de lin, semble moins intéressant pour obtenir une valeur proche de celle des ANC du fait de sa forte proportion en acides gras $\omega 6$. Il faudrait rechercher d'autres sources possibles en $\omega 3$. On peut aussi imaginer la solution d'une huile de colza enrichie en $\omega 3$.

La cuisson de la viande ne semble pas altérer de façon notable les acides gras d'intérêt. L'enrichissement en acides gras $\omega 3$ que l'on trouve dans la viande fraîche se retrouve aussi dans la viande cuite. Le consommateur pourra donc trouver dans son assiette une viande riche en acides gras $\omega 3$ correspondant aux recommandations des ANC du moins en ce qui concerne le rapport $\omega 6/\omega 3$. L'apport en $\omega 3$ sera voisin de 600 à 900 mg $\omega 3$ sur une base de 10 % de lipides pour 150 g de côte de porc. La viande de porc complétementée en $\omega 3$ ne pourra pas influencer à elle seule la qualité diététique de l'alimentation humaine mais elle pourra y contribuer significativement.

Références bibliographiques

- ANC, Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française, 2001. AFSSA, Ed. Tec & Doc, Paris
 Camara M., Mourot J., Cherot P., 1994. Journées Rech. Porcine, 26, 163-168
 Emken E., Adlot R., Guillery R., 1994. Biochem. Bioph. Acta., 1213, 277-288
 Folch J., Lee M., Sloane Stanley G., 1957. J. Biol. Chem., 226,497-509
 Legrand P., Mourot J., 2002. Viande et produits carnés, hors série, 49-57
 Morrisson W., Smith L., 1964. J. Lipid Res., 5, 600-608
 Mourot J., Peiniau P., Mounier A., 1994. Rep. Nutr. Dev., 34, 213-220
 Mourot J ; et Hermier D., 2001. Rep. Nutr. Dev., 41, 109-118
 Vorin V., Mourot J., Weill P., Robin G., Peiniau P., Mounier A., 2002. Journées Rech Porcine, 35, 251-256

TENEUR EN LIPIDES ET METABOLISME DES ADIPOCYTES DANS LE MUSCLE CHEZ LE PORC EN CROISSANCE

GARDAN D., LOUVEAU I., GONDRET F.

INRA, Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles.

Introduction

L'importance relative des dépôts adipeux sous-cutanés et la teneur en lipides intramusculaires sont des composantes importantes des qualités technologiques et organoleptiques des carcasses et des viandes chez le porc. En particulier, des études récentes montrent qu'un doublement de la teneur en lipides intramusculaires dans la longe permettrait d'améliorer significativement l'acceptabilité sensorielle de la viande par les consommateurs français (Fernandez et al., 1999). Les lipides du muscle se subdivisent en lipides de structure (phospholipides) présents en quantité assez peu variable, et en lipides de réserve (triglycérides). Les triglycérides sont stockés pour une part mineure dans les fibres musculaires (10-20% des triglycérides totaux) et pour leur plus grande part (80% des triglycérides totaux) dans la vacuole lipidique des adipocytes intramusculaires (IM) qui se développent entre les faisceaux de fibres (Essen-Gustavsson et al., 1994). Le nombre et la taille de ces adipocytes apparaissent comme des paramètres essentiels dans la variabilité de la teneur en lipides intramusculaires (Gondret et al., 2002). Si les mécanismes contrôlant l'hypertrophie des adipocytes du tissu adipeux sous-cutané sont relativement bien connus, les particularités du métabolisme des adipocytes IM restent largement à caractériser. L'objectif de cette étude est de préciser l'évolution des lipides IM au cours de la croissance, en relation avec le métabolisme des adipocytes IM.

Matériel et Méthodes

Animaux et prélèvements. Des porcs Piétrain x (Large White x Landrace), de sexe femelle, élevés en conditions standards, ont été abattus à 30, 70, 110 ou 150 kg (n = 8 par stade). Des échantillons de tissu adipeux sous-cutané dorsal (TASC) et de muscle squelettique (trapèze) ont été prélevés après l'abattage. Les adipocytes ont été immédiatement isolés par traitement à la collagénase.

Mesure de la teneur en lipides totaux. La teneur en lipides du muscle a été mesurée par la méthode de Folch et al. (1957).

Détermination de la taille des adipocytes. Le diamètre moyen des adipocytes a été mesuré à la fois sur cellules isolées en suspension (analyse d'image) et sur coupes histologiques (5 coupes de 10 µm d'épaisseur, distantes de 50 µm, coloration au rouge à l'huile ; Gondret et al., 2002).

Analyse du métabolisme lipidique cellulaire et tissulaire. Les activités spécifiques d'enzymes impliquées dans la lipogenèse (enzyme malique, EM et synthase des acides gras, FAS) ont été dosées sur surnageants cytosoliques obtenus à partir de muscle ou d'adipocytes isolés.

Analyse de l'expression de gènes du métabolisme lipidique. Les niveaux d'expression de gènes clés impliqués dans l'anabolisme (FAS et EM) ou le catabolisme lipidique (lipase-hormono-sensible, LHS) ont été déterminés par RT-PCR en temps réel à partir des ARN des adipocytes isolés.

Résultats et discussion

Nos résultats indiquent que la teneur en lipides augmente dans le muscle au cours de la croissance (+ 135% entre 30 et 150 kg, $P < 0,001$, Tableau 1). Au point de vue histologique, cette augmentation est parallèle à l'hypertrophie des adipocytes IM au cours de la croissance (+ 70% pour le diamètre adipocytaire, $P < 0,001$). Sur le plan métabolique, une augmentation des activités des enzymes de la lipogenèse est observée dans le muscle (+ 125% pour la FAS et + 66% pour l'EM entre 30 et 150 kg). Ces résultats sont en accord avec les études précédemment réalisées chez le porc rapportant une augmentation des activités des enzymes de la lipogenèse dans l'homogénat de muscle au moins jusqu'à 140 jours d'âge (soit environ 100 kg de poids vif ; Lee et Kauffman, 1974 ; Mourot et Kouba, 1998). Les triglycérides du muscle étant principalement stockés dans les adipocytes IM, les caractéristiques cellulaires et métaboliques de ces adipocytes ont été étudiées, en comparaison à celles des adipocytes du TASC. Quelque soit le poids vif considéré, les adipocytes IM présentent un diamètre moyen de 40 à 52% inférieur à celui des adipocytes du TASC ($P < 0,001$, Tableau 2). Sur le plan métabolique, les activités des enzymes de la lipogenèse sont en moyenne 20 fois plus faibles dans les adipocytes IM que dans les adipocytes du TASC ($P < 0,01$). De même, les niveaux d'expression des gènes des enzymes de la lipogenèse ou de la LHS, enzyme clé de la lipolyse, sont également très faibles dans les adipocytes IM (14 à 27 fois plus faibles au stade 150 kg, par exemple). Ces différences entre les deux populations adipocytaires peuvent s'expliquer par des différences de taille (Farnier et al., 2003) et/ou de maturité physiologique, les adipocytes se développant plus tardivement dans le muscle que dans le TASC (Lee et Kauffman, 1974). Des études chez l'Homme ou le rat rapportent également une spécificité propre des tissus adipeux sur le plan cellulaire ou métabolique, en fonction de leur localisation anatomique (Lefebvre et al., 1998 ; Wajchenberg et al., 2000). Enfin, les activités enzymatiques ou les niveaux d'expression des gènes étudiés dans l'adipocyte IM ne varient pas significativement avec le poids de l'animal. En revanche, le rapport de l'expression relative du gène FAS sur celle du gène LHS augmente de 330% entre 30 et 150 kg. Cela suggère une orientation de la balance lipogenèse/lipolyse dans les adipocytes IM en faveur

de la synthèse de lipides au cours de la croissance, qui pourrait être responsable au moins en partie de l'augmentation de la taille adipocytaire observée pendant cette période.

Tableau 1. Evolution des caractéristiques métaboliques et histologiques du muscle entre 30 et 150 kg

	30 kg	70 kg	110 kg	150 kg	<i>Effet Poids</i>
Teneur en lipides (%)	2,6 ^a	4,1 ^b	5,6 ^c	6,1 ^c	< 0,001
Diamètre moyen des adipocytes IM sur coupe histologique (µm)					
	30 ^a	39 ^b	42 ^b	49 ^c	< 0,001
Activités des enzymes de la lipogenèse (nmole/min/mg protéines)					
Synthase des acides gras	0,4 ^a	0,3 ^a	0,7 ^b	0,9 ^b	< 0,001
Enzyme malique	12,2 ^a	20,1 ^b	17,0 ^b	20,3 ^b	< 0,01

Tableau 2. Cellularité et métabolisme des adipocytes intramusculaires (IM) ou du tissu adipeux sous-cutané (TASC) à 30 et 150 kg

	Adipocytes IM		<i>Effet Poids</i>	Adipocytes du TASC		<i>Effet Poids</i>
	30 kg	150 kg		30 kg	150 kg	
Diamètre moyen des adipocytes isolés (µm)						
	23	39	<0,001	38	81	<0,001
Activités des enzymes de la lipogenèse (nmoles/min/mg protéines)						
Synthase des acides gras	1,8	0,9	<i>NS</i>	38,1	20,4	<0,05
Enzyme malique	15,0	5,8	<i>NS</i>	305,1	155,3	<0,05
Expression de gènes (unités arbitraires/18S)						
Synthase des acides gras	0,03	0,21	<i>NS</i>	1,57	3,04	<0,01
Enzyme malique	0,25	0,17	<i>NS</i>	3,24	4,55	<i>NS</i>
Lipase hormono-sensible	0,09	0,15	<i>NS</i>	3,66	2,03	<i>NS</i>

Conclusion

Nos résultats indiquent que la croissance pondérale chez le porc est associée à une augmentation globale de la teneur en lipides du muscle et à une hypertrophie des adipocytes IM. L'identification des spécificités de ces adipocytes IM par rapport aux adipocytes du TASC est un pré-requis à toute tentative ultérieure de manipulation du dépôt de lipides dans le muscle sans affecter l'adiposité globale de la carcasse. Notre étude montre que les adipocytes IM se caractérisent par une activité lipogénique mais aussi une activité lipolytique beaucoup plus faibles que celles observées dans les adipocytes du TASC. L'augmentation du diamètre des adipocytes IM et de la teneur en lipides du muscle au cours de la croissance s'expliquerait en partie par une modification de la balance lipogenèse/lipolyse dans l'adipocyte en faveur de la lipogenèse durant cette période. L'importance de la captation des acides gras plasmatiques par les adipocytes IM devra également être considérée à l'avenir.

Références bibliographiques

- Essen-Gustavsson B., Karlsson A., Lundström K., Enfält A.C., 1994. *Meat Sci.*, 38, 269-277.
 Farnier C., Krief S., Blache M., Diot-Dupuy F., Mory G., Ferre P., Bazin R., 2003. *Int J. Obesity*, 27, 1178-1186.
 Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., 1999. *Meat Sci.*, 53, 59-72.
 Folch J., Lee M., Sloane Stanley G. H., 1957. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
 Gondret F., Lebret B., 2002. *J. Anim. Sci.*, 80, 3184-3193.
 Lee Y.B., Kauffman R.G., 1974. *J. Anim. Sci.*, 38, 532-537.
 Lefebvre A.M., Laville M., Vega N., Riou J.P., Van Gall L., Auwerx J., Vidal H., 1998. *Diabetes*, 47, 98-103.
 Mourot J., Kouba M., 1998. *Livest. Prod. Sci.*, 55, 127-133.
 Wajchenberg B.L., 2000. *Endocr. Rev.*, 21, 697-738.

Remerciements

Les auteurs remercient C. Tréfeu et F. Pontrucher (UMRVP) pour leur contribution technique.

ETUDES IMMUNOHISTOLOGIQUES DE LA TRAME CONJONCTIVE DE MUSCLES DE BOVINS EN RELATION AVEC LA TENDRETE

LABAS R.¹, SIFRE-MAUNIER L.¹, CHANIER L.¹, LISTRAT A.², TAYLOR R.¹

¹ - Station de Recherches sur la Viande, ² - URH Croissance musculaire et métabolisme
INRA Theix 63122 St Genès Champanelle

Introduction

La tendreté est l'un des facteurs majeurs intervenant dans la satisfaction éprouvée par le consommateur de viande bovine. Elle présente cependant une très grande variabilité dont les causes ne sont pas complètement élucidées. Outre le rôle joué par la composante myofibrillaire sur laquelle de nombreuses études ont été conduites, la trame conjonctive représente, en parallèle, une part conséquente dans le déterminisme de la dureté de la viande.

Au sein du réseau conjonctif, c'est au niveau du périmysium délimitant les faisceaux de fibres que semble se situer la majeure partie de la variabilité rencontrée. Le périmysium est composé de différentes molécules (collagènes de différents types, élastine et protéoglycanes) qui interagissent entre elles. L'étude des différents composants de cette trame conjonctive périmysiale permettra de mieux cerner le rôle respectif joué par chacun d'eux.

Matériels et méthodes

Quatre muscles différents ont été choisis sur un groupe de 8 vaches charolaises : *Biceps femoris* (BF), *Infraspinatus* (IS), *Longissimus thoracis* (LT), et *Pectoralis profundus* (PP). L'évaluation de la tendreté des échantillons, à 21 jours *post mortem*, a été réalisée par mesure de la résistance en compression longitudinale à l'aide d'un appareil Instron 4501. Ces mesures réalisées sur des échantillons cuits 30 min à 60°C, sont exprimées par la contrainte (en N.cm⁻² de section de muscle) de l'échantillon à 80% de la contrainte maximale.

Les études histologiques ont été pratiquées sur des cubes de muscles de 2 cm de côté prélevés à 48 h *post mortem* et congelés rapidement dans de l'isopentane refroidi par de l'azote liquide (-160 °C). Des sections de 10 µm d'épaisseur ont été coupées à l'aide d'un microtome à congélation.

La caractérisation des composants de la trame conjonctive a été réalisée par méthode immunohistologique en utilisant des anticorps primaires dirigés contre le collagène I (Sigma C 2456), l'élastine (Sigma E 4013) et la décorine (banque américaine). Un anticorps secondaire marqué à la peroxydase a permis de révéler le marquage en présence de DAB.

Des images ont été numérisées en utilisant un banc lumineux et un objectif macro Nikon connecté à une caméra noir et blanc Sony. L'acquisition et le traitement d'images ont été effectués en utilisant le logiciel Visilog 5.4 (Noesis – France). Sur chaque image, une segmentation du réseau marqué par chaque anticorps a été réalisée après seuillage sur les niveaux de gris. Une quantification de l'importance relative de chaque marquage est possible par évaluation de la surface du réseau segmenté exprimée en % de la surface totale de l'image (Figure 1).

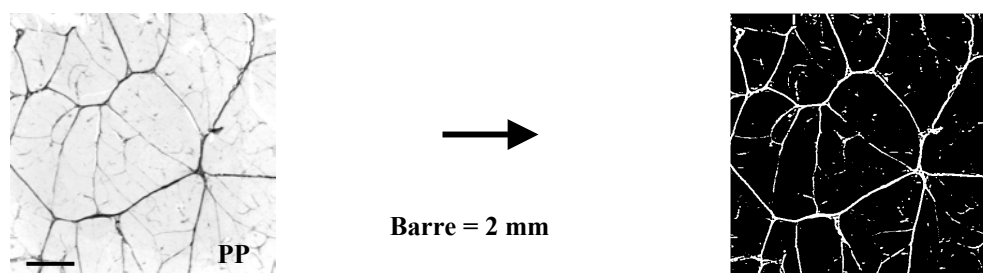


Fig. 1 : Marquage par anti - collagène I couplé à la peroxydase - muscle PP

Quantification du collagène I par segmentation après seuillage sur le niveau de gris

Une révélation du marquage immunohistologique a également été réalisée en utilisant des anticorps secondaires couplés avec des marqueurs fluorescents : CY3 (Figure 4) et Alexa 488 (Figure 5). Les coupes ont été observées sur un microscope confocal Olympus.

Résultats et discussions

Les mesures rhéologiques permettent de classer les muscles en fonction de leur dureté d'après la résistance à la compression des échantillons cuits exprimée en N/cm^2 : PP(174,2) > BF(126,6) > LT(97,8) > IS (85,1). En ce qui concerne les études immunohistologiques, l'étude en cours de réalisation ne permet de présenter que des premiers résultats quantitatifs sur la teneur en élastine. Il ressort un taux d'élastine exprimé en % de la surface de la coupe, plus élevé dans les muscles PP et BF (respectivement 5,1 et 3,6), par rapport à celui des muscles LT et IS (respectivement 1,6 et 2,2). (Figure 2). Cette différence est associée à une épaisseur plus grande du perimysium pour les muscles PP et BF (Sifre-Maunier L. et al, 2004). Ces résultats sont en accord avec les études réalisées par Bendall (1967).

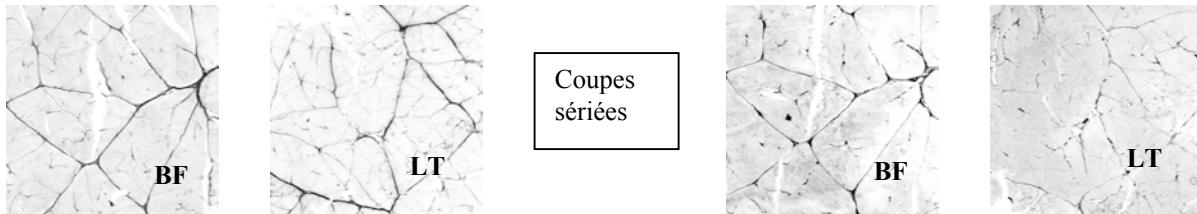


Fig. 2 : Marquage anti-collagène I peroxydase

Marquage anti-élastine peroxydase

L'étude des marquages avec l'anticorps anti-décorine (Figure 3) met en évidence le rôle non négligeable que joue ce protéoglycane dans la structure de la trame conjonctive. Parmi les protéines étudiées, la décorine a la plus large distribution. Elle se situe dans toutes les régions du perimysium ainsi que dans la lame basale des adipocytes et des capillaires. L'élastine est trouvée dans les trames épaisses du pérимysium ainsi qu'aux embranchements tandis que le collagène I est réparti sur l'ensemble du pérимysium.

L'examen des marquages en microscopie confocale met en évidence la structure en faisceaux de fibres de l'élastine. Il permet une étude plus fine de la co-localisation des différents composants de la trame pérимysiale.

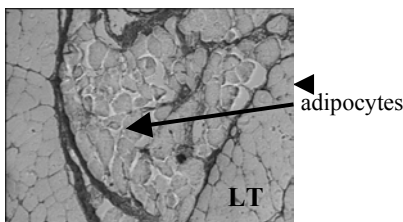


Fig.3 : Anti-décorine Peroxydase

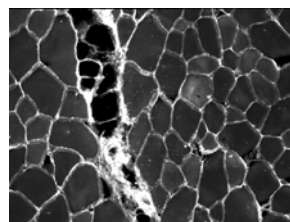


Fig. 4 : collagène I CY3

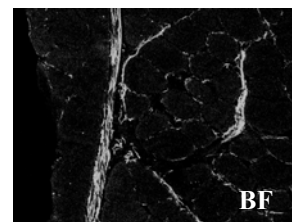


Fig. 5 : Elastine Alexa 488

De plus, on observe l'accumulation d'adipocytes à la jonction de grosses trames pérимysiales (Figure 3). Il sera important d'évaluer par une coloration spécifique (red oil ou noir soudan) en parallèle avec la caractérisation immunohistologique, la répartition et la concentration de ces adipocytes.

Conclusions

Le marquage immunohistologique apporte des informations sur la localisation des différentes protéines qui forment le tissu conjonctif. La méthode de traitement d'images permettra de quantifier, de façon spécifique, sur des coupes sériées, l'importance relative des divers composants de la trame pérимysiale (différents types de collagènes, élastine, décorine). Si la variabilité entre muscle était connue (Purslow, 2002), la variabilité inter-animale pour un même muscle pourra être approfondie par cette méthode.

Références bibliographiques

Bendall J. R., 1967, J. Sci. Food Agric., 18, 553-558.

Purslow PP., 2002, Comp. Biochem. Physiol. Part A, 133, 947-966

Sifre-Maunier L., Taylor R. G., Berge P., Bonny J. M., 2004 50th International Congress of Meat Science and Technology Helsinki, 532-535

MATURATION DE LA VIANDE DE PORC : INFLUENCE SUR LES MESURES DE TEXTURE COMPARAISON LABEL ROUGE / STANDARD

VAUTIER A., BOULARD J., HOUIX Y., LE ROUX A., MINVIELLE B., BOZEC A.

ITP – antenne ouest – La Motte au Vicomte – bp 35104 – 35651 Le Rheu cedex

Introduction

Un des principaux reproches concernant la qualité de la viande de porc porte sur sa tendreté après cuisson. Une des voies d'amélioration peut résider dans l'allongement de la période de maturation. Sans atteindre les délais de consommation tels que ceux pratiqués en bovin (18 à 22 jours, SHANKS et al., 2002), une augmentation de la durée de maturation de 3 jours supplémentaires comparativement aux 2 jours de délai de stockage courants observés en linéaire, pourrait améliorer la tendreté de la viande de porc. La question de la tendreté se pose également lors d'une consommation précoce de la viande (le lendemain de l'abattage) telle que l'on peut parfois observer. Une comparaison de 2 modes de production (Label Rouge vs Standard) permettrait de différencier deux types de production, aux réseaux de distribution susceptibles de présenter des délais de consommation différents.

Matériel et méthodes

Dans cette étude, 90 porcs ont été étudiés sur 5 répétitions triés parmi une population de 1157 individus (pH, sexe) : 45 porcs sont issus d'une production Label Rouge (verrat terminal mâle P*D) et 45 porcs proviennent d'une production dite « standard » (verrat terminal mâle LW*P). Trois durées de maturation ont été testées sur des longes entières: courte (lot PRE : pas de stockage), intermédiaire (lot TEM : 2 jours de stockage en barquette après désossage), et longue (lot MAT : 3 jours de stockage en longe entière + 2 jours de stockage en barquette). A l'issue des trois traitements (tableau 1), les échantillons de muscle *longissimus dorsi* (25 cm de long, adjacent à l'échine) ont subi un test de résistance au cisaillement (Test de Warner-Bratzler) suivant un protocole standardisé (HONIKEL et al., 1998), ce test étant considéré comme le meilleur estimateur de la tendreté avec des corrélations variant entre 0.39 et 0.68 selon le protocole (VAN OEKEL, 1999 ; CHANNON et al., 2004). Ces analyses ont été complétées par des mesures de pénétrométrie (2 cycles de compression, HONIKEL et al., 1998).

Tableau 1 : schéma expérimental

	Lots Label Rouge			Lots Standard		
	PRE	TEM	MAT	PRE	TEM	MAT
Effectif	15	15	15	15	15	15
J1	<i>Abattage/découpe – tri pH des longes</i>					
J2						
J3	ANA	LIN	M	ANA	LIN	M
J4		LIN	M		LIN	M
J5		ANA	M		ANA	M
J6			LIN			LIN
J7			LIN			LIN
J8			ANA			ANA

M : maturation des reins (longes entières non désossées) en chambre froide. LIN : conservation du *Longissimus dorsi* en barquette en conditions « linéaire ». ANA : analyses en laboratoire (texture)

Les longes étudiées ont été sélectionnées sur leur pH₁(30 min) et pH_u (24 heures) afin d'écarter les défauts majeurs de qualité technologique de la viande (pH₁ >6.10 et pH_u >5.5). Parallèlement aux mesures de texture, 200 gr. de muscle *Longissimus dorsi* par échantillon (dégraissé) ont également été prélevés pour analyse chimique du taux de matière grasse. La couleur a été mesurée sur coupe fraîche du *longissimus dorsi* (MINOLTA CR300) lors du désossage des longes (J3 et J5).

Résultats – discussion

Le tri des échantillons selon les bornes de pH et sur le sexe a induit une différence significative de pH_u entre les lots Label Rouge et Standard (5.65 vs 5.71, tableau 2), en raison de l'effectif plus restreint de la population Label Rouge. Malgré cet écart, il n'est pas mis en évidence de différences significatives entre les mesures de forces de cisaillement des deux modes de production, signe d'une texture après cuisson équivalente. Le test de pénétrométrie montre par contre qu'une force supérieure est nécessaire sur les échantillons Label Rouge pour obtenir une compression équivalente, résultat probablement lié à l'écart de pH_u mis en évidence entre les deux lots. Le taux de lipides intramusculaire n'est pas significativement

différent entre les lots Standard et Label Rouge, bien que le type génétique des porcs soit considéré comme un facteur de variation (GUEBLEZ et al., 1993). La teneur en humidité n'est pas modifiée par la durée de maturation.

Tableau 2 : effet de la durée de maturation (couleur, texture)

	Mode de production		Niveau de signification	Durée de maturation			Niveau de signification
	Label Rouge	Standard		PRE	TEM	MAT	
pHu (population n=1157)	5.62	5.61	NS	-	-	-	-
pHu (échantillon n=90)	5.65 _a	5.71 _b	*	5.69	5.68	5.67	NS
L*	50.0	48.9	NS	48.0 _a	48.5 _a	51.7 _b	***
a*	4.1 _a	5.3 _b	***	4.6	4.7	4.7	NS
b*	2.4	2.4	NS	2.1 _a	2.3 _{ab}	2.7 _b	*
Humidité (%)	74.9 _a	75.2 _b	*	75.1	75.0	75.1	NS
Lipides intramusculaires (%)	1.5	1.4	NS	1.4	1.4	1.5	NS
F. de cisaillement Fmax (N)	34.2	34.3	NS	38.4 _a	35.1 _b	29.3 _c	***
F. de compression Fmax (N)	78.6 _a	76.9 _b	*	77.6	77.6	78.1	NS

Les lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5% (***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$)

Il est mis en évidence une augmentation significative de la réflectance (L*) au cours de l'allongement de la durée de maturation (51.7 vs 48.5 et 48.0, lots MAT, TEM et PRE respectivement) à pHu équivalent. Ces résultats sont en accord avec ceux de DAVIS et al. (2004) montrant une augmentation de la réflectance entre une conservation de longes saumurées à 7 jours et 14 jours. Cette variation du L* pourrait être le reflet d'une dégradation de la structure des fibres musculaires, comme rapporté chez le bovin (NISHIMURA et al., 1996 ; EGGEN et al., 1998).

La maturation agit dans un sens favorable sur les résultats du test de Warner Bratzler, les échantillons étant plus tendres avec l'augmentation de la durée de maturation. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie, rapportant une réduction de la dureté du *Longissimus Dorsi* (DRANSFIELD et al., 1991) et de la force de cisaillement (DAVIS et al., 2004 ; CHANNON et al., 2004) avec l'augmentation de la durée de maturation. Par ailleurs, l'analyse de variance met en évidence une interaction significative entre la durée de maturation et le mode de production, dans le sens d'une diminution de plus forte amplitude de la force de cisaillement pour les échantillons Label Rouge ($p=0.03$, données non montrées). Les mesures de pénétrométrie qui présentent pourtant des corrélations avec la note de tendreté du même ordre que le test de Warner Bratzler ($r=0.48$, BOUTON et al., 1975) ne mettent pas en évidence d'effet de la durée de maturation. Cette absence d'effet est peut être liée à un temps de maturation relativement court dans cette étude, MARTINEZ-CEREZO (2002) rapportant chez les ovins une diminution significative de la force nécessaire à la compression du *Longissimus Thoracis* lorsque la maturation passe de 1 à 16 jours.

Conclusion

La maturation du rein a montré une augmentation de la réflectance (L*) et de la saturation dans le jaune (b*). Le test de Warner Bratzler sur le muscle *Longissimus dorsi* (considéré comme le meilleur estimateur de la tendreté) a révélé une texture de viande plus tendre avec l'augmentation de la durée de maturation (en rein ou en barquette). Aucun effet du type de production n'a été mis en évidence malgré l'écart de pH ultime de l'échantillon. Sachant la difficulté d'évaluer la signification de la tendreté obtenue par technique instrumentale une étude complémentaire avec l'intervention d'un jury de consommateurs reste à envisager.

Bibliographie

- Bouton P., Ford A., Harris P., 1975. J.Texture Studies 6:315-328
 Channon H., Kerr M., Walker P., 2004. Meat Science 66: 881-888
 Davis K., Sebranek E., Lonergan S., 2004.
 Dransfield E., Ledwith M., Taylor A., 1991. Meat Science 29:129-139
 Eggen K., Ekhold W., Host V., 1998.
 Gueblez R., Sellier P., Fernandez X., Runavot J.P. 1993 Journée Recherche Porcine , 25: 5-12.
 Honikel K. Meat Science 49:447-458
 Martinez-Cerezo S., Sanudo C., Olleta J. 2002. 9^{ème} Journée des Sciences du Muscle et Technologie de la viande. Viandes et Produits Carnés. Hors série
 Nishimura T., Hattori A., Takahashi K., 1996. Meat Science, vol.42, 251
 Shanks, B., Wulf D., Maddock R.. 2002. Journal of Animal Science. Vol.80:2122-2125
 Van Oeckel M., Warnants N., Boucque Ch. V. 1999. Meat Science, vol.53:259-267.

CARACTERISATION DE L'ORGANISATION DU TISSU CONJONCTIF INTRAMUSCULAIRE DE LA VIANDE BOVINE PAR ANALYSE D'IMAGES

SIFRE-MAUNIER L, TAYLOR RG, BERGE P, BONNY JM

Unité de Recherches sur la Viande, INRA de Clermont-Ferrand, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

Le tissu conjonctif intramusculaire (TCIM), en interaction avec les myofibres, influence la tendreté de la viande, en particulier celle des bovins. Peu étudiée faute de moyens techniques adaptés, l'organisation spatiale de ce tissu peut maintenant être caractérisée grâce aux progrès récents réalisés dans le domaine de l'analyse d'images. Ainsi, à partir de l'image obtenue sur coupes histologiques colorées, des paramètres morphologiques caractérisant la distribution du TCIM (surface, longueur et épaisseur) ont été quantifiés et comparés pour différents types de muscle de bovin.

Matériels et méthodes

Animaux et préparation des échantillons:

Les échantillons de muscle ont été prélevés sur les 2 demi-carcasses de 8 vaches Charolaises âgées de 3 à 7 ans. Les muscles *biceps femoris* (BF), *infraspinatus* (IS), *longissimus thoracis* (LT) et *pectoralis profundus* (PP) ont été choisis pour leurs architectures contrastées, tant en ce qui concerne la taille des faisceaux de fibres musculaires que de l'épaisseur du TCIM (figure 1). Les échantillons destinés à l'histologie ont été prélevés 2 jours post mortem. Des cubes de $20 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$ ont été congelés à l'isopentane refroidi à l'azote liquide à -160°C . Trois coupes transversales sériées de 0,01 mm d'épaisseur ont été colorées au Rouge Sirius, colorant spécifique du tissu conjonctif (figure 1).

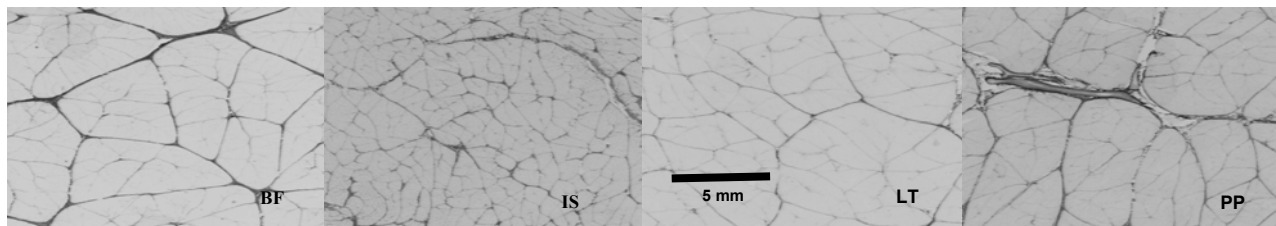


Figure 1 : coupes transversales de muscles (*biceps femoris*, BF; *infraspinatus*, IS; *longissimus thoracis*, LT; *pectoralis profundus*, PP) colorées au Rouge Sirius et observées à l'aide d'un objectif macroscopique en éclairage à transmission. Ici le tissu conjonctif apparaît en noir et les fibres musculaires forment le fond gris clair.

Analyse d'images et mesures des paramètres morphologiques de l'IMCT :

Une coupe par échantillon ($1,5 \times 1,5 \text{ cm}^2$) a été numérisée sur un banc lumineux en transmission avec une camera CCD Jai CV-M300 couplée à un objectif macroscopique ($6,8 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{pixel}$). Le traitement d'images, effectué grâce au logiciel Visilog (Noesis, France), se décompose en deux étapes. Dans un premier temps, le TCIM a été segmenté automatiquement par un seuillage FMT (Fuzzy maps Thresholding) [1] à 2 niveaux de confiance ε , pour extraire tout le réseau ($\varepsilon = 55\%$), puis seulement les éléments les plus épais (périmysium primaire, $\varepsilon = 80\%$) (Figure 2). Puis l'aire occupée par le réseau segmenté et sa longueur (aire du squelette du réseau) ont été mesurées puis son épaisseur, estimée par le rapport entre l'aire et la longueur, a été calculée.

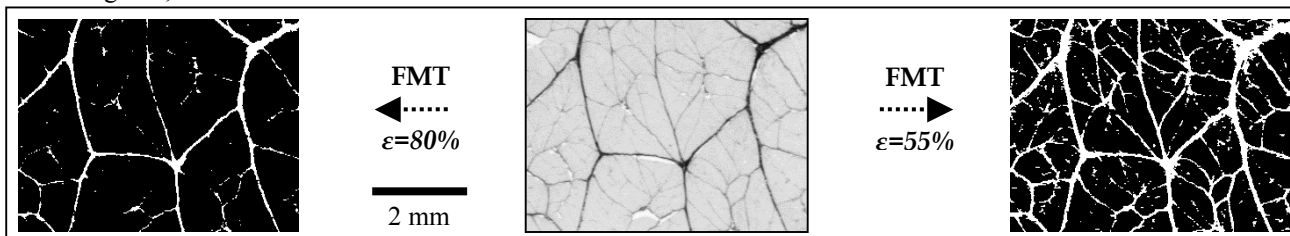


Figure 2 : extraction du TCIM par segmentation à l'aide de la méthode FMT à 2 niveaux de confiance ($\varepsilon = 80\%$: segmentation des segments les plus épais et $\varepsilon = 55\%$: segmentation du réseau entier) à partir d'une coupe transversale de muscle *biceps femoris* de bovin colorée au Rouge Sirius.

Dosage de la teneur en collagène et mesures mécaniques de dureté :

La teneur en collagène a été déterminée à partir de la concentration en hydroxyproline mesurée par colorimétrie selon la technique de Bergman et Loxley (1963) [2], adaptée par Bonnet et Kopp (1986) [3] sur 5 prises de muscles broyé de 3 g chacune. La dureté des muscles a été évaluée par la mesure de la résistance en compression, à 80% de déformation, après 21 jours de maturation à 4°C . Dix éprouvettes ont été prélevées sur des tranches de viande de 3 cm d'épaisseur, cuites sous vide à 65°C pendant 30 min au bain-marie.

Résultats et discussions

La surface occupée par le périmysium :

Le pourcentage de surface occupée par le réseau ne permet pas de discriminer les muscles BF et PP, malgré le fait que leurs teneurs en collagène soient significativement différentes (tableau 3). Le muscle BF présente la plus large surface de TCIM à 80% (13,9%), et la plus petite à 55% (4,9%). Cela peut s'expliquer par le fait qu'il présente un réseau épais avec peu de segments fins. Au contraire, le muscle IS a la plus grande surface à 55% (16%), ce qui peut être relié à sa forte teneur en collagène constituée par un réseau fin, qui n'est extrait qu'à faible niveau de confiance. Des valeurs similaires de pourcentages de surface occupée par le périmysium ont été mesurées [6] (12% contre 14% par FMT à 55% pour le muscle LT). Cependant la surface occupée par le périmysium semble être un déterminant faible de la tendreté de la viande, particulièrement à faible niveau de confiance (quand tout le réseau est segmenté) puisqu'elle ne permet pas de différencier nos 4 muscles. La surface des segments du réseau les plus épais ($\varepsilon = 80\%$) semble être plus pertinente puisqu'elle sépare les muscles en 3 groupes. Cependant elle est moins discriminante que le dosage du collagène (tableau 3).

Tableau 2 : Paramètres caractérisant la distribution du TCIM, déterminés après segmentation des images par la méthode FMT. Des lettres différentes dans une même colonne indiquent des valeurs significativement différentes ($p < 0,05$)

	Épaisseur (μm)		Surface (% image totale)		Longueur (mm)	
	55	80	55	80	55	80
BF	82 ^a	82 ^a	13,8 ^b	4,9 ^a	330 ^b	118 ^c
IS	69 ^c	58 ^c	16,6 ^a	4,0 ^b	469 ^a	135 ^b
LT	74 ^b	58 ^c	14,0 ^b	3,1 ^c	374 ^b	104 ^d
PP	80 ^a	67 ^b	14,8 ^{ab}	4,9 ^a	363 ^b	144 ^a

Tableau 3 : Teneur en collagène et résistance à la compression à 80% de déformation sur viande cuite. Des lettres différentes dans une même colonne indiquent des valeurs significativement différentes ($p < 0,05$)

	Teneur en collagène (μg d'hydroxyproline / g de muscle frais)	Force de compression à 80% de déformation (N/cm^2)
BF	1087 ^b	127 ^b
IS	892 ^c	85 ^c
LT	565 ^d	98 ^c
PP	1207 ^a	174 ^a

La longueur du réseau de périmysium :

La longueur totale du réseau (tableau 2), qui dépend de son degré de ramification, discrimine les 4 types de muscles au fort niveau de confiance seulement. Les muscles PP et IS, qui présentent les plus grands degrés de ramification (figure 1) ont des réseaux plus longs que les muscles LT et BF. Au faible niveau de confiance, la mesure de la longueur est probablement faussée par l'épaisseur des segments les plus épais. Lors de la squelettisation du réseau ces segments épais sont couverts de petits segments artéfactuels (figurant l'épaisseur), qui entraînent la surestimation la longueur du réseau.

L'épaisseur du réseau de TCIM:

L'épaisseur permet de discerner les muscles BF et PP d'une part et IS et LT d'autre part, aux 2 niveaux de confiance ε . Pour $\varepsilon = 80\%$ (extraction des segments épais), les muscles BF et PP présentent des épaisseurs de TCIM significativement différentes ($p < 0,05$) alors qu'il n'y a pas de différence significative entre les muscles IS et LT (tableau 2). A l'opposé, pour $\varepsilon = 55\%$ (extraction du réseau entier), les muscles IS et LT présentent des épaisseurs significativement différentes mais pas les muscles BF et PP. Ainsi la segmentation à un niveau de confiance élevé est plus adaptée à la mise en évidence de différences entre muscle comportant un périmysium épais, tandis que les muscles à réseau fin seront séparés avec une segmentation à faible niveau de confiance. Les valeurs des épaisseurs du TCIM obtenues sont du même ordre de grandeur que celles précédemment publiées [4], qui estimait l'épaisseur du périmysium primaire des muscles *semitendinosus* et *semimembranosus* de bovin à respectivement 111 et 121 μm . Nos valeurs sont plus faibles car elles sont issues d'une moyenne des différents niveaux de périmysium. Par ailleurs, notre méthode surestime légèrement les réseaux les plus fins, contribuant à diminuer la valeur de l'épaisseur. Même si elle n'explique pas à elle seule les variations de la tendreté ($R^2 = 0,50$ [5]), il existerait donc bien une liaison entre l'épaisseur du TCIM et la tendreté du muscle, puisque les muscles BF et PP, qui sont des muscles durs (tableau 3) présentent des réseaux plus épais que ceux de muscles tendres tels que les muscles LT et IS.

Conclusions

Cette méthode automatique d'analyse d'images du réseau de tissu conjonctif dans le muscle et la viande, fournit un moyen de caractériser objectivement le réseau de TCIM, et d'analyser plus précisément son rôle dans le déterminisme de la tendreté de la viande. Ainsi, en comparant chez le bovin la structure du TCIM des muscles BF, IS, LT et PP, nos résultats indiquent que la tendreté de la viande semble être plus déterminée par la longueur et l'épaisseur de son réseau que par la surface de celui-ci. Afin d'étendre l'étude de l'organisation du TCIM à des niveaux d'échelle supérieurs, cette méthode générique de traitement d'images peut être adaptée à d'autres modalités d'acquisition, telle que l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM).

Références bibliographiques

- [1] Sifre-Maunier L., Taylor R.G, Berge P., Bonny J.M., 2004. 50th International Congress of Meat Science and Technology Helsinki, 532-535.
- [2] Bergman I., Loxley R., 1963. Ana. Chem., 35, 1961-1965.
- [3] Bonnet M., Kopp J., 1986. Viandes et Produits Carnés, 7, 263-266.
- [4] Torrecano G., Lujan L., Sanchez-Escalante A., Gimenez B., Roncales P., Beltran J. A., 2001. 47th International Congress of Meat Science and Technology Krakovie, 236-237.
- [5] Brooks J.C., Savell J.W., 2004. Meat Sci., 67, 329-334.
- [6] Geesink G. H., Koolmees P. A., van Laack H. L., Smulders F, 1995. Meat Sci., 41(1), 7-17.

EFFETS RESPECTIFS DE LA NATURE DE L'ALIMENTATION ET DE LA MOBILITE SUR LE POTENTIEL METABOLIQUE DES MUSCLES DE BŒUFS CHAROLAIS

JURIE C.¹, ORTIGUES-MARTY I.¹, MICOL D.¹, CASSAR-MALEK I.¹, DOZIAS D.²,
PICARD B.¹ HOCQUETTE JF.¹

¹INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint Genès Champanelle

²INRA, Domaine expérimental du Pin au Haras, 61310 EXMES

Introduction

La nature de l'alimentation influe sur les caractéristiques musculaires des bovins. En effet, des bœufs recevant une ration à base d'herbe (conservée ou pâturée) présentent un métabolisme musculaire plus oxydatif, un collagène plus soluble et une teneur en lipides intramusculaires plus faible que des bœufs recevant de l'ensilage de maïs à l'auge (Jurie C. et al., 2000). Cependant, les effets respectifs de l'alimentation à l'herbe et de la mobilité des animaux au pâturage restent à déterminer, étant donné qu'il est connu que l'exercice physique a un effet sur les caractéristiques musculaires. Aussi cette étude a eu pour objectif de définir la part respective de la nature de l'alimentation et de la mobilité sur le potentiel métabolique des muscles de bœufs finis à 30-32 mois et conduits à même vitesse de croissance.

Matériel et Méthodes

Animaux : 30 bœufs Charolais, sevrés à l'âge de 8 mois et castrés à l'âge de 9,5 mois, ont été répartis en 5 lots homogènes sur la base de leurs poids et âge au sevrage, et conduits en stabulation libre jusqu'à l'abattage à l'âge de 30-32 mois. Deux lots ont reçu une ration à base d'herbe (ensilage en saison hivernale et herbe coupée en saison de pâturage) tandis que 2 autres lots recevaient une ration à base d'ensilage de maïs, du sevrage à l'abattage. Pour chacune des rations considérées, un lot était soumis à des déplacements forcés chaque jour (5 jours par semaine), durant le dernier été avant l'abattage. Les déplacements forcés consistaient à couvrir une distance de 5,2 km en 1 heure, répartie pour moitié le matin et l'après-midi. Le dernier lot a été alimenté à l'ensilage d'herbe en saison hivernale et classiquement au pâturage en saison estivale. Les 5 lots ont été conduits à même vitesse de croissance.

Mesures : à l'abattage, des échantillons des muscles *semitendinosus* (ST, glycolytique) et *rectus abdominis* (RA, oxydatif) ont été prélevés dans l'heure suivant l'abattage et stockés à -80° jusqu'aux analyses. Les activités enzymatiques caractérisant le métabolisme glycolytique (phosphofructokinase [PFK], lactate déshydrogénase [LDH]) et le métabolisme oxydatif (hydroxyacyl-CoA déshydrogénase [HAD], citrate synthase [CS], isocitrate déshydrogénase [ICDH] et cytochrome-c oxydase [COX]) ont été déterminées sur les 2 muscles selon les méthodes décrites par Cassar-Malek et al. (2004).

Analyses statistiques : deux analyses de variance ont été réalisées selon la procédure GLM de SAS. Dans une première analyse, seuls 2 lots (herbe pâturage vs maïs mobilité réduite) ont été comparés et les effets traitement, muscle et l'interaction lot x muscle ont été testés. Dans une deuxième analyse sur les 4 lots conduits en stabulation libre, les effets nature de la ration, mobilité et l'interaction entre ces 2 facteurs ont été testés sur chacun des muscles.

Résultats

Tableau 1 : Effets du muscle (M) et du traitement (T) sur les activités enzymatiques du métabolisme musculaire ($\mu\text{moles min}^{-1} \text{g}^{-1}$ muscle). t : $P < 0,10$ (tendance) ; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$

Muscle (M)	ST		RA		SEM	Effets
	Herbe Pâturage	Ensilage maïs Mobilité réduite	Herbe Pâturage	Ensilage maïs Mobilité réduite		
LDH	1062	1003	720	679	28,2	M***
PFK	26,9	27,9	17,6	19,5	0,55	M*
HAD	1,6	1,2	2,2	1,8	0,09	M***, T**
CS	4,6	4,0	5,7	4,8	0,17	M***, T**
ICDH	0,91 ^c	0,99 ^{cb}	1,62 ^a	1,12 ^b	0,066	M***, T ^t , M×T**
COX	5,1	4,8	17,2	15,2	1,31	M***

Le muscle ST, glycolytique, présente des activités PFK ($P < 0,05$) et LDH ($P < 0,001$) 1,5 fois plus élevées que celles du muscle RA oxydatif ; et inversement des activités HAD (1,4), CS (1,2), ICDH (1,4) et COX (3,3 fois) plus faibles que celles du muscle RA ($P < 0,001$) (Tableau 1).

Les enzymes représentatives du métabolisme glycolytique (PFK et LDH), ainsi que l'activité COX, enzyme de la chaîne respiratoire des mitochondries, ne sont pas différentes entre les 2 lots de bœufs considérés : herbe-pâturage et ensilage de

maïs-mobilité réduite. En revanche, les activités des enzymes représentatives du métabolisme oxydatif (HAD, CS et ICDH) sont significativement plus élevées pour les bœufs alimentés à l'herbe que pour ceux alimentés à l'ensilage de maïs. Ainsi, les muscles des bœufs à l'herbe sont plus oxydatifs que ceux au maïs (Tableau 1).

Les effets respectifs de la nature de la ration et de la mobilité sur les enzymes oxydatives (HAD, CS et ICDH) ont pu être déterminés grâce à la comparaison entre les 4 lots conduits en stabulation libre, recevant de l'herbe coupée ou de l'ensilage de maïs, avec ou sans mobilité forcée (Tableau 2).

Tableau 2 : Effets de la nature de la ration (R) et de la mobilité (M) sur les activités enzymatiques du métabolisme musculaire ($\mu\text{moles min}^{-1} \text{g}^{-1}$ muscle). L'interaction ration x mobilité étant non significative pour chacune des activités enzymatiques déterminées, seuls les effets principaux ont été présentés. t : $P < 0.10$; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

	Ration (R)		SEM	Mobilité (M)		SEM	Effets
	Herbe	Ensilage maïs		Réduite	Forcée		
Muscle ST							
HAD	1,67	1,36	0,081	1,33	1,70	0,081	R*, M**
CS	4,88	4,47	0,206	4,33	5,02	0,21	M*
ICDH	1,05	0,96	0,078	0,98	1,03	0,078	
Muscle RA							
HAD	2,11	1,95	0,091	1,89	2,17	0,091	M*
CS	5,37	5,19	0,208	4,86	5,70	0,208	M**
ICDH	1,44	1,17	0,073	1,20	1,41	0,073	R*, M*

Globalement, les bœufs nourris à l'herbe présentent des activités enzymatiques plus élevées que ceux nourris à l'ensilage de maïs. Toutefois, ces effets ne sont significatifs que pour l'activité HAD dans le muscle ST ($P < 0,05$) et pour l'activité ICDH ($P < 0,05$) dans le muscle RA. De la même manière, la mobilité forcée entraîne une augmentation globale des activités enzymatiques. Dans chacun des deux muscles ST et RA, ces effets ne sont significatifs que pour les enzymes HAD et CS ($P < 0,05$ à $0,01$). Concernant l'activité HAD, l'effet de la mobilité est plus important pour le muscle ST, impliqué dans le déplacement, (+ 28 %, $P < 0,01$), que pour le muscle RA, muscle interne (+ 15 %, $P < 0,05$). Enfin l'activité ICDH est également influencée par la mobilité mais uniquement dans le muscle RA ($P < 0,05$) (Tableau 2).

Discussion

Cette étude confirme les résultats précédents (Jurie et al., 2000), à savoir que des bœufs conduits au pâturage présentent des muscles plus oxydatifs que des bœufs recevant de l'ensilage de maïs à l'auge. Cela a également été observé pour des taurillons conduits selon des systèmes, soit extensif, soit intensif (Vestergaard et al., 2000). Par ailleurs, les résultats présentés ci-dessus indiquent que le caractère plus oxydatif des muscles d'animaux au pâturage s'explique davantage par le fait que les animaux se déplacent que par un effet strict de la nature de la ration. Les effets de la mobilité sur le métabolisme musculaire sont donc à rapprocher de ceux généralement observés dans les expériences d'endurance ou de stimulation électrique chronique. L'augmentation des activités HAD, enzyme responsable de l'oxydation des acides gras longs, et de la CS, enzyme du cycle de Krebs, avec la mobilité, traduit probablement une utilisation accrue des acides gras comme source énergétique.

Conclusion

Les effets de la conduite des animaux au pâturage sur le métabolisme musculaire, comparativement à une conduite à l'auge, s'expliquent principalement par la mobilité des animaux au pâturage et dans une moindre mesure par la nature de la ration. Cette étude a également permis de montrer que des enzymes du métabolisme oxydatif se révèlent être plus ou moins sensibles à la mobilité (activité CS) ou à la nature de la ration (activité ICDH).

Références bibliographiques

- Cassar-Malek I., Hocquette JF., Jurie C., Lustrat A., Jailler R., Bauchart D., Briand Y., Picard B. 2004. *Animal Sci.*, 79, 49-59.
- Jurie C., Bauchart D., Lustrat A., Picard B., Giraud X., Dozias D., Jailler R., Geay Y., Hocquette JF. 2000. *Viandes Prod. Carnés, Hors série*, 59-64.
- Vestergaard M., Oksbjerg N., Henckel P. 2000. *Meat Sci.*, 54, 177-185.

ETUDE DE LA DIFFERENCIATION DES FIBRES MUSCULAIRES DE L'EMBRYON DE TRUITE PAR HYBRIDATION *IN SITU* D'UN LARGE REPERTOIRE DE TRANSCRITS MUSCULAIRES

CHAUVIGNE F., RALLIERE C., CAUTY C., RESCAN P.Y.

INRA-SCRIBE, Campus de beaulieu, Rennes.

Introduction

Le muscle myotomal représente environ 65% de la masse corporelle du poisson et lui confère sa valeur commerciale. Les caractéristiques typologiques des fibres musculaires du poisson dont dépendent pour partie les propriétés qualitatives de la chair ne sont pas connues dans le détail. De façon classique, on distingue dans le myotome du poisson une couche superficielle de fibres lentes oxydatives recouvrant une masse profonde de fibres rapides glycolytiques. Bénéficiant grâce au programme AGENAE-INRA d'un large répertoire de gènes musculaires codant des protéines du système contractile ou régulant le métabolisme des fibres, nous nous sommes proposés de décrire leur activation dans le myotome embryonnaire et larvaire afin de caractériser plus avant la différenciation des fibres lentes et rapides et leur diversification subséquente si elle a lieu. Par hybridation *in situ* de ribosondes « musculaires » nous montrons qu'un réseau complexe d'activation/extinction géniques accompagne la différenciation des fibres lentes et rapides. L'expression régionalisée dans le myotome embryonnaire puis larvaire de certains gènes musculaires montre une diversité inattendue de fibres musculaires de la truite en développement.

Matériel et méthodes

Pour visualiser l'expression de gènes musculaires dans le myotome de la truite, nous avons hybridé, sur des coupes d'embryons, les ARNs spécifiques de ces gènes avec une ribsonde antisens générée à partir d'un lot de cDNAs musculaires choisis dans le répertoire des ESTs AGENAE.

Résultats et discussion

Myogénèse primaire intrasomitique

La première manifestation d'une différenciation musculaire dans le somite embryonnaire est l'activation, au stade 20 somites, d'un ensemble de gènes incluant principalement des isoformes « rapides » de protéines contractile (myosine, tropomyosine, troponine...). L'expression de ces gènes débute sans exception dans le région profonde du somite et s'étend ensuite à des territoires plus latéraux pour affecter finalement l'ensemble du somite. Ensuite se différencient les fibres lentes : les cellules profondes du somite (les cellules adaxiales) se mettent à exprimer spécifiquement des marqueurs du lignage lent (chaînes lourde et légère de myosine « lente ») et montrent comme chez le poisson zèbre (1) une migration apparente vers la périphérie du somite ou elles forment *in fine* le muscle lent superficiel. Des extinctions géniques ayant lieu dans les fibres lentes et rapides complètent la maturation de ces dernières : ainsi des isoformes rapide de myosine cessent d'être exprimées dans les fibres lentes. Concomitamment, certains gènes musculaires sont activés dans des sous-domaines du myotome : par exemple la parvalbumine dans le territoire ventral du myotome.

Néomyogénèse stratifiée de la larve

Autour de l'éclosion, le nombre de fibres augmente considérablement, en particulier dans les zones dorsales et ventrales du myotome (2). Cette adjonction de nouvelles fibres dans les aires germinales dorsales et ventrales (l'hyperplasie stratifiée) génère un gradient de taille très caractéristique des fibres musculaires de la périphérie du myotome vers sa profondeur. Par hybridation *in situ*, nous avons observé que la grande majorité des gènes musculaires retenus pour notre étude sont exprimés dans les néofibres formées au cours de l'hyperplasie stratifiée et non dans les région profonde du myotome où se concentrent les fibres anciennes formées au cours de la myogénèse intrasomitique. Le phénotype des fibres néoformées diffère donc de celui des fibres plus anciennes générées au cours de la myogénèse primaire intrasomitique.

Conclusion

L'apparente migration latérale des précurseurs lents vers la périphérie du myotome que nous avons observé chez l'embryon de truite s'accorde avec le patron morphogénétique décrit chez le poisson-zèbre. Toutefois nous montrons que la différenciation des fibres lentes et rapides implique aussi des activations/extinctions géniques séquentielles fort complexes dont il serait utile de connaître les mécanismes régulateurs. Par ailleurs, l'expression régionalisée de nombreux gènes musculaire dans des territoires variés du myotome embryonnaire et larvaire révèle une diversité phénotypique des fibres

musculaires qui dépassent la dichotomie classique séparant fibres lentes et fibres rapides. Reste à savoir si cette hétérogénéité des fibres musculaires est assortie d'une plasticité sur laquelle nous pourrions agir pour construire la qualité.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre des programmes AGENAE-INRA et a bénéficié du support financier de l'IFOP, L'OFIMER et le CIPA.

Références Bibliographiques

- (1) Devoto S.H., Melancon E., Eisen J.S., Westerfield M., 1996. *Development*, 122 (11), 3371-3380
- (2) Rowleron A., Veggetti A., 2001. In : Jonhston I ed., editor. *Muscle development and growth*, 103-140

EFFET DE L'AGE SUR LA COMPOSITION LIPIDIQUE DE LA VIANDE D'AGNEAU ALLAITANT ITALIEN MERINO.

DI CESARE C.², FILETTI F.², MOUROT J.³, MAIORANO G.², SALVATORIG.¹, ORIANI G.¹

¹Dipartimento di Scienze per la Salute, Via de Sanctis, 86100 Campobasso, Italy

²Dipartimento di Scienze Animali, Vegetali e dell'Ambiente, Via de Sanctis, 86100 Campobasso, Italy

³INRA- UMRVP, 35590 Saint Gilles, France

Introduction

Les lipides intramusculaires ont une grande importance dans la qualité nutritionnelle de la viande, en particulier les acides gras (AG) polyinsaturés qui sont associés à une diminution du risque d'apparition de la maladie coronarienne chez l'homme (Hu et al, 1999). En raison des systèmes de production différents, la viande de ruminants est caractérisée par de grands changements quantitatifs et qualitatifs des graisses déposées (Enser et al, 1998). En Italie (comme dans d'autres pays de la Méditerranée), l'agneau allaitant (jusqu'à un poids de carcasse de 7 kg) est le produit principal de la filière ovine, mais l'agneau (7-13 kg) et l'agneau lourd (plus de 13 kg) sont aussi commercialisés (Rubino et al., 1999). Beaucoup de facteurs influencent le dépôt de graisse chez l'agneau ainsi que sa composition (Nürnberg et al., 1998).

Peu d'études sur les d'agneaux allaitants ont été publiées et la plupart des travaux se réfère généralement aux génotypes espagnols (Berriain et al., 2000; Velasco et al., 2001). Le but de cette étude est d'évaluer, en fonction de l'âge, les dépôts en cholestérol, contenu lipidique et acides gras dans la viande d'agneau italien Merino en cours d'allaitement, agneau élevé selon un mode semi-extensif traditionnel.

Matériel et méthodes

Trente agneaux italiens Merino âgés de 5 jours ont été répartis en trois groupes homogènes et abattus à 30, 50 et 70 jours d'âge. Pendant l'étude les agneaux ont été allaités naturellement et à partir de 15 jours d'âge, ils ont eu accès à un concentré commercial. Les poids d'abattage étaient 11,1 ±0,5, 19,5 ±0,9 et 23,0 ±1,0 kg à 30, 50 et 70 jours d'âge, respectivement. Des échantillons (50 g) de *longissimus dorsi* (LD) ont été prélevés et stockés à -20°C en vue d'analyses. Les lipides totaux ont été extraits par la méthode au chloroforme/méthanol (Folch et al., 1957).

Les AG ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse après dérivation (Stoffel et al., 1959). Le cholestérol a été extrait (Maraschiello et al., 1996) et ensuite évalué quantitativement par HPLC. Nous avons évalué les rapports AGPI/AGS, AG n-6/AG n-3 et calculé les indices athérogène (AI) et thrombogène (TI) (Ulbricht et Southgate, 1991). Les données ont été comparées par ANOVA et les différences entre moyennes par le test de Duncan (SPSS, 2000).

Résultats

La quantité de lipides totaux du muscle LD n'a pas varié entre les âges étudiés (tableau 1). Aucune différence significative n'est mise en évidence pour la composition en AG, à l'exception de l'acide laurique (C12:0) qui diminue ($P < 0.05$) avec l'âge. Les AGPI augmentent avec l'âge mais non significativement certainement en raison des variations individuelles élevées. Concernant les propriétés diététiques de viande, le rapport C18:2/C18:3 est le plus bas chez les agneaux de 50 jours d'âge ($P < 0.05$). Le cholestérol a diminué ($P < 0.01$) avec l'âge, principalement entre 30 et 50 jours.

Tableau 1. Teneurs en lipides totaux (g/100 g), cholestérol (mg/100 g) et composition en AG (%) du muscle LD en fonction de l'âge d'abattage.

Age	30 jours	50 jours	70 jours	P
Lipides totaux	2.82 ±0.83	2.91 ±1.39	2.79 ±1.17	Ns
C12:0	1.61 ^b ±0.52	1.11 ^{ab} ±0.53	0.77 ^a ±0.23	<0.05
C14:0	9.16 ±1.70	8.59 ±1.47	6.93 ±1.90	Ns
C16:0	28.71 ±1.67	28.78 ±2.54	29.22 ±0.99	Ns
C17:0	0.63 ±0.36	0.91 ±0.45	1.48 ±0.67	Ns
C18:0	12.98 ±1.02	12.86 ±0.93	13.79 ±1.01	Ns
C16:1 ω 9	2.38 ±0.68	2.44 ±0.35	1.90 ±0.21	Ns
C18:1 ω 9	31.82 ±3.25	32.44 ±5.66	30.70 ±5.93	Ns
C18:2 ω 6	7.68 ±1.62	8.81 ±0.66	12.36 ±6.08	Ns
C18:3 ω 3	1.84 ±0.67	2.95 ±0.56	2.94 ±1.03	Ns
C20:4 ω 6	1.41 ±0.22	1.34 ±0.05	1.40 ±0.17	Ns
AG saturés	53.10 ±3.09	52.27 ±5.14	52.19 ±1.76	Ns
AG monoinsaturés	34.20 ±3.28	34.89 ±5.70	32.60 ±6.05	Ns
AG polyinsaturés	10.94 ±2.29	13.11 ±1.08	16.71 ±7.14	Ns
Indice athérogène	1.50 ±0.29	1.37 ±0.35	1.17 ±0.20	Ns
Indice thrombogène	1.88 ±0.30	1.61 ±0.31	1.56 ±0.20	Ns
AGPI/AGS	0.21 ±0.05	0.25 ±0.04	0.32 ±0.14	Ns
C18:2/C18:3	4.40 ^b ±0.81	3.05 ^a ±0.47	4.09 ^{ab} ±1.05	<0.05
Cholestérol	87.45 ^b ±5.33	69.67 ^a ±6.42	65.13 ^a ±10.35	<0.01

Les valeurs en ligne affectées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

Discussion

L'âge n'a pas influencé la teneur en lipides totaux alors qu'il est connu que l'âge et le poids sont souvent associés à une adiposité plus élevée, mais ces différences souvent ne sont pas significatives. Selon Sañudo et al., (1998), les différences d'adiposité sont, dans une race ou un croisement, plus importante à certaines étapes de la croissance qu'à d'autres. Ceci a été confirmé par Morbidini et al., (2000), qui a montré une augmentation des lipides intramusculaires chez les agneaux italiens Merino de plus de 75 jours d'âge. En ce qui concerne le profil en acides gras, l'acide oléique est le plus abondant ce qui est en accord avec les travaux de Bas et Morand-Fehr (2000) et Velasco et al., (2004). Cela est un avantage diététique pour cette viande car cet acide gras est réputé pour réduire le LDL cholestérol et les triglycérides sanguins (Mattson et Grundy, 1985; Grundy, 1986). L'acide gras saturé myristique (C14:0) jugé dangereux pour la santé humaine car il favorise la lipémie chez l'homme (Keys et al., 1965) présente, dans notre étude, un pourcentage moyen plus élevé que les valeurs trouvées chez les agneaux lourds sevrés (Solomon et al., 1990; 1992). Toutefois, la teneur est semblable à celles généralement observées chez les agneaux allaités (Velasco et al., 2004). Ainsi, les AG C12:0 et C14:0 prédominent chez les très jeunes agneaux allaités à cause de l'influence du lait maternel (Bas et Morand-Fehr, 2000; Velasco et al., 2004). Les agneaux à 11 kg se comportent comme des monogastriques et le profil en AG de leurs tissus adipeux reflète la composition des graisses ingérées avec le lait (Beriain et al., 2000). Cependant, le profil en AG des dépôts lipidique d'agneau peut être modifié par les compléments alimentaires. Dès que l'on apporte aux agneaux une alimentation solide, il y a une chute brutale dans les quantités relatives de C12:0 et C14:0 (Beriain et al., 2000; Velasco et al., 2001), comme nous l'avons observé chez nos agneaux. Dans l'étude présente, la viande des agneaux de 70 j d'âge a présenté le meilleur profil de lipide conformément aux souhaits des nutritionnistes humains avec une teneur en cholestérol plus basse associée à une quantité plus élevée d'AGPI ce qui fait baisser les index athérogène et trombogène. La diminution du cholestérol avec l'âge a été précédemment montrée chez l'agneau (Arsenos et al., 2000). De même, Banskalieva (1997) a noté aussi une augmentation de l'insaturation des AG avec le dépôt de graisse chez le mouton. Cela pourrait être un résultat du passage d'un régime exclusivement basé sur le lait maternel à une alimentation solide supplémentée qui réduit la consommation de lait (Marsico et al., 1995).

La valeur des rapports n-6/n-3 varie de 4 à 3 et correspond aux souhaits des nutritionnistes humains qui préconisent une valeur proche de 4 pour limiter les risques de maladies coronariennes (Enser et al, 2001).

Les valeurs des index AI et TI sont comparables avec ceux annoncés par Morbidini et al., (2000) pour la même race. Néanmoins, l'index AI est plus élevé que des valeurs trouvées pour d'autres génotypes (Salvatori et al., 2004).

Conclusions

L'âge à l'abattage n'a pas modifié la teneur en lipide et le profil en acides gras, mais il a permis de réduire la quantité de cholestérol dans la viande d'agneau italien Merino allaité, élevé en mode semi-extensif traditionnelle. La viande des animaux de 70 jours d'âge a montré le meilleur profil en lipide d'un point de vue alimentaire humain. Le contenu en cholestérol est le plus bas et la teneur en AGPI est plus élevée ce qui permet également de baisser l'index athérogène et trombogène.

Références bibliographiques

- Arsenos G., Zygoyiannis D., Kufidis D., Katsaounis N., Stamataris C., 2000. *Small Rumin. Res.*, 36, 275-283; Banskalieva V., 1997. *Small Rumin. Res.*, 24, 37-42;
- Bas P., Morand-Fehr P., 2000. *Livest. Prod. Sci.*, 64, 61-79.
- Beriain M. J., Horcada A., Purroy A., Lizaso G., Chasco J., Mendizabal J. A., 2000. *J. Anim. Sci.*, 78, 3070-3077.
- Enser M., Hallett K. G., Hewett B., Fursey G. A. J., Wood J. D., Harrington G., 1998. *Meat Sci.*, 49, 329-341
- Enser M., Scollan N., Gulati S., Richardson I., Nute G., Wood J., 2001. *Proc. 47th I.Co.M.S.T.*, 1, 12-13;
- Folch J., Lees M., Sloane Stanley G. H. A., 1957. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509;
- Grundy S. M., 1986. *New Engl. J. Med.*, 314, 745-748;
- Hu F. B., Stampfer M. J., Manson J. E., Aschiero A., Colditz G. A., Speizer F. E., Hennekens C. H., Willet W. C., 1999. *J. Clin. Nutr.*, 70, 1001-1008;
- Keys A., Anderson J. T., Grand F., 1965. *Metabol.*, 14, 776-787;
- Maraschiello C., Diaz I., Garcia Regueiro J. A., 1996. *J. High Resol. Chromatogr.*, 19, 165-168;
- Marsico G., Ciruzzi B., Vonghia G., Pinto F., Vicenti A., Laudadio V., Ragni M., Papaleo C., 1995. *Zoot. Nutr. Anim.*, 21, 345-357;
- Mattson F. M., Grundy S. M., 1985. *J. Lipid Res.*, 26, 194-202;
- Morbidini L., Pollidori P., Sarti D. M., Valigi A., 2000. *Atti 14° Congr. Naz. S.I.P.A.O.C.*, 253-256;
- Nürnberg K., Wegner J., Ender K., 1998. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 145-156;
- Rubino R., Morand-Fehr P., Renieri C., Peraza C., Sarti F. M., 1999. *Small Rumin. Res.*, 34, 289-302;
- Salvatori G., Pantaleo L., Di Cesare C., Maiorano G., Filetti F., Oriani G., 2004. *Meat Sci.*, 67, 45-55;
- Sañudo C., Sanchez A., Alfonso M., 1998. *Meat Sci.*, 49(1), S29-S64;
- Solomon M. B., Lynch G. P., Ono K., Paroczay E., 1990. *J. Anim. Sci.*, 68, 137-142;
- Solomon M. B., Lynch G. P., Lough D. S., 1992. *J. Anim. Sci.*, 70, 2746-2751
- SPSS, 2000. *SPSS/PC+Statistic 10.0*, SPSS Inc., Chicago, IL;
- Stoffel W., Chu F., Ahrens E. H. Jr., 1959. *Anal. Chem.*, 31, 307-311;
- Ulbricht T. L. V., Southgate D. A. T., 1991. *Lancet*, 338, 985-992;
- Velasco S., Cañeque V., Lauzurica S., Pérez C., Huidobro F., 2004. *Meat Sci.*, 66, 457-465;
- Velasco S., Cañeque V., Pérez C., Lauzurica S., Díaz M. T., Huidobro F., Manzanares C., González J., 2001. *Meat Sci.*, 59, 325-333.

COMPARAISON DES TISSUS ADIPEUX SOUS-CUTANES ET INTRAMUSCULAIRES CHEZ LES PORCS BASQUES ET LARGE WHITE

L. ALFONSO (1), J. MOUROT (2), Kizkitza INSAUSTI (1), J.A. MENDIZABAL (1)

(1) U.P.N.A., Departamento de Producción Agraria – 31006 Pamplona, Espagne
(2) I.N.R.A., UMRVP – 35590 Saint-Gilles

Introduction

La race porcine Pie Noir du Pays Basque (porc Basque) est une de ces races qui a perdu son rôle de production pendant le siècle dernier. La production porcine a été centrée sur la sélection d'un petit nombre de races pour augmenter l'efficacité des performances du tissu musculaire et améliorer le contenu maigre des carcasses, l'indice de transformation des aliments, la vitesse de croissance et la taille de portée. En conséquence, les caractères des tissus adipeux des animaux actuellement employés pour la production de viande porcine ont été modifiés: ceci a eu des effets parfois négatifs sur les propriétés sensorielles de la viande et sur certains produits transformés.

Les performances de croissance des porcs de races maigres ou grasses sont différentes. Ainsi, quand ils sont abattus à poids équivalent, l'âge n'est pas le même. L'objectif de cette étude est de comparer, à âge identique, les caractéristiques des tissus adipeux sous-cutané et intramusculaire de porcs de races Pie Noir du Pays Basque et Large-White.

Matériels et méthodes

1) Animaux: 22 porcelets Large White et 25 porcelets Basques, ont été initialement choisis afin d'assurer un minimum de vingt animaux par race. Il y a eu une mortalité élevée chez le porc Basque (28%) et 18 porcs Basques sont arrivés à la fin de l'expérimentation. L'engraissement des animaux a été réalisé dans la même exploitation (située au Baztan, vallée du Nord de la Navarre) avec les mêmes conditions d'élevage. L'aliment employé pendant la période finale d'engraissement était composé d'orge (45%), de maïs (28%), de soja (24%) et de graisse animale (1%). Tous les animaux ont été sacrifiés, à un âge moyen de 29 semaines, dans le même abattoir et le même jour, de façon à minimiser l'effet de transport, sacrifice et abattoir sur les résultats de l'expérimentation.

2) Mesures et analyses: L'épaisseur de lard a été mesurée le jour avant l'abattage avec une sonde à ultrasons. A l'abattoir, deux échantillons, un de gras de la 1^{ère} couche du tissu sous-cutané et un autre du jambon (muscle *Semimembranosus*) ont été prélevés juste après l'abattage des animaux. Deux côtes de chaque animal (5^{ème} et 6^{ème}) ont été prises à la découpe. La cinquième côte a été employée pour décrire la quantité et la distribution du gras intramusculaire par analyse d'image (Mendizabal et al., 1998) et pour déterminer la teneur en lipides totaux selon la méthode Soxhlet (ISO-1443-1973). La sixième côte a été utilisée pour obtenir les profils en acides gras par chromatographie en phase gazeuse selon la technique de Morrison et Smith (1964) après l'extraction du gras intramusculaire par la méthode de Bligh et Dyer (1959). Les échantillons utilisés pour les analyses chimiques ont été pris après broyage de l'ensemble du muscle *Longissimus* de chaque côte sans enlever le tissu adipeux contenu dans son périmètre.

Résultats et discussions

1) Tissu adipeux sous-cutané: Au même stade d'abattage, les poids moyens étaient de 86 et 127 kg pour les porcs Basques et Large White respectivement. Les différences d'épaisseur de lard entre les deux races (tableau 1) confirment les résultats de travaux antérieurs même si elles sont plus faibles que celles rapportées lorsque la comparaison est faite à un même poids d'abattage (Labroue et al. 2000).

Tableau 1 – Caractéristiques du tissu adipeux sous-cutané et du tissu adipeux intramusculaire

	Basque (n=18)	Large White (n=22)	Signif. ¹
Tissu adipeux sous-cutané dorsal			
Epaisseur de lard (Echographie)	2.60 ±0.38	1.74 ± 0.42	***
Diamètre des adipocytes (µm)	92.55 ± 9.83	79.71 ±10.31	***
Tissu adipeux intra musculaire			
Côte (6ème)			
Surface du gras (cm ²)	5.22 ±0.93	5.57 ±1.52	NS
% surface du gras	18.26 ±3.28	12.55 ±2.37	***
Nombre de veines / cm ²	0.97 ±0.31	0.66 ±0.21	***
Taille des veines (mm ² /cm ²)	0.70 ±0.18	0.46 ±0.09	***
Pourcentage de lipides			
Jambon	14.97 ±3.83	7.93 ±4.08	***
Diamètre des adipocytes (µm)	40.22 ±4.84	32.98 ±1.83	***

¹ ***: p≤0.001; **: p≤0.01; *: p≤0.05; ns: p>0.05.

Les résultats obtenus avec cette forte différence de poids confirment la tendance du porc Basque à avoir une adiposité sous-cutanée plus élevée qui est en relation avec une taille supérieure des adipocytes (Hood et Allen, 1977). D'autre part, il

existe une relation positive et significative entre l'épaisseur de lard et la taille des adipocytes pour les deux races (coefficient de corrélation: 0.76 pour les Large White, 0.64 pour les Basques).

2) Tissu intramusculaire: Au niveau de la cinquième côte, le nombre et la taille de veines de gras sont supérieurs chez le porc Basque, ce qui se traduit par une plus grande surface relative de gras (tableau 1). Le pourcentage total de lipides est en conséquence supérieur pour les Basques. Les adipocytes du muscle *Semimembranosus* des porcs Basques ont un diamètre supérieur à celui des porcs Large White comme observé au niveau sous-cutané. En comparant les races Piétrain et Meishan, Hauser et al. (1997) ont déjà décrit que la taille des adipocytes des tissus sous-cutané et intramusculaire est plus élevée chez les génotypes obèses que les maigres, ce qui confirme nos résultats

Il n'existe pas de différence significative dans la composition en acides gras de la viande (6ème côte) entre les races. Mais la teneur lipides est plus élevée chez le porc basque, on peut donc penser que la teneur en AG sera aussi plus élevée, en particulier pour l'acide oléique (C18:1) qui est directement lié à la saveur caractéristique et à l'acceptabilité de la viande de porc (Cameron et al., 2000). La viande de porc basque sera certainement meilleure au goût.

La teneur en acides gras polyinsaturés est plus élevée (mais NS) chez les porcs maigres. Ces résultats vont dans le même sens que d'autres études (Nürnberg et al., 1998 ; Högberg et al., 2002). L'absence de signification est certainement dû au fait que dans notre étude les animaux sont abattus à âge constant alors que dans les autres études ils sont abattus à poids constant, c'est à dire avec une importante différence d'âge entre races. Il est bien connu qu'il existe un effet de l'âge sur l'augmentation de la synthèse *de novo* d'acides gras induisant une teneur plus élevée en acides palmitique et stéarique et en conséquence une augmentation d'acides saturés (Nürnberg et al., 1998).

Tableau 2– Composition en acides gras de la viande au niveau de la 6ème côte

Acides gras	Basque (n=18)	Large White (n=22)	Signif. ¹
C14:0	1.30 ±0.33	1.27 ±0.27	N S
C16:0	24.01 ± 1.84	23.69 ±1.89	N S
C16:1	2.91 ±1.22	2.58 ±0.65	N S
C18:0	13.12 ±1.27	13.56 ±3.20	N S
C18:1	35.80 ±7.82	33.70 ±7.54	N S
C18:2	7.82 ±5.12	10.06 ±4.24	N S
C18:3	0.79 ±1.49	0.86 ±1.90	N S
C20:0	0.22 ±0.07	0.23 ±0.09	N S
C20:1	0.76 ±0.22	0.73 ±.18	N S
C20:2	1.28 ±1.71	1.71 ±1.85	N S
C20:3	0.08 ±0.05	0.11 ±0.08	N S
C20:4	2.35 ±1.84	2.34 ±1.66	N S
Somme A.G. Saturés	40.50 ±2.42	40.81 ±2.62	N S
Somme A.G. Monoinsaturés	44.99 ±8.46	41.78 ±7.75	N S
Somme A.G. Polyinsaturés	14.52 ±7.78	17.41 ±7.71	N S

¹ ***: p≤0.001; **: p≤0.01; *: p≤0.05; ns: p>0.05. ² Moyenne (écart type)

Expression en pourcentage de la somme des acides gras identifiés

Conclusion

Les différences déjà décrites sur la quantité de gras entre les deux races considérées se confirment, même pour animaux sacrifiés au même âge et ayant plus de quarante kilogrammes de différence de poids vif. Elles sont plus élevées au niveau du tissu adipeux sous-cutané qu'au niveau du tissu intramusculaire et il est possible de les relier avec le développement cellulaire de ces tissus. Les porcs Basques ont une taille des adipocytes supérieure, qui correspond, au niveau intramusculaire, avec une plus forte activité des enzymes impliquées dans la synthèse des lipides (données non rapportées). Cependant, il ne semble y avoir aucun lien entre le niveau d'engraissement et la composition d'acides gras au niveau du tissu intramusculaire quand on compare les deux races. Ce résultat contredit la dépendance de la composition d'acides gras avec la race, et l'augmentation des acides saturés et monoinsaturés avec le niveau d'engraissement.

Références bibliographiques

- Bligh E.G., Dyer W.J. 1959. Can. J. Biochem. Physiol., 37, 911.
 Cameron N.D., Enser M., Nute G.T., Whittington F.M., Penman J.C., Fiske A.C., Perry A.M., Wood J.D., 2000. Meat Sci. 55, 187-195.
 Hauser N., Mourot J., De Clercq L., Genart C., Remacle C., 1997. Reprod. Nutr. Dev. 37, 617-625.
 Högberg A., Pickova J., Babaol J., Anderson K., Dutta P.C., 2002. Meat Sci. 60, 411-420.
 Hood R.L., Allen C.E. 1977. J. Lipid Res., 18, 275-248.
 Labroue F., Goumy S., Gruand J., Mourot J., Neelz V., Legault C. 2000. Journées Rech. Porcine en France, 32, 403-411.
 Mendizabal J.A., Purroy A., Beriain M.J., Lizaso G., Insausti K. 1998. ITEA 94A(1), 43-48.
 Morrison W.R., Smith L.M. 1964. J. Lipid Res., 5, 600-608.
 Nürnberg K., Wegner J., Ender K. 1998. Livest. Prod. Sci., 56, 145-156.

COMPARAISON DES QUALITES DE CARCASSE ET DE VIANDE DU PORC LARGE WHITE ET CREOLE

RENAUDEAU D.¹, MOUROT J.²

Institut National de la Recherche Agronomique

¹ Unité de Recherches Zootechniques, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe

² Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

Introduction

Aux Antilles, le porc Créole est très important de part son effectif (près de 40% du cheptel porcin) et de son intérêt économique et culturel. Il constitue une population très hétérogène résultant de croisements successifs entre des porcs ibériques introduits dès le XVI siècle et des porcs français, anglais et américain lors des différentes étapes de la colonisation des Antilles (Canope 1982). Le porc Créole se caractérise par des performances de croissance faible et une forte adiposité corporelle. A l'image des autres races locales métropolitaines (Basque, Gascon ou Limousin ; Labroue et al 2000), les faibles performances du porc Créole pourraient avoir des conséquences bénéfiques sur la qualité de sa viande. Une première étude a montré une meilleure qualité organoleptique de la viande de porc Créole par rapport aux Large White (Deprès et al 1992). Cependant, le manque de références récentes sur la qualité de la viande du Créole constitue un facteur limitant pour la recherche d'une meilleure valorisation économique.

L'objectif de ce travail est de comparer le porc Créole (CR) à un témoin Large White (LW) pour la composition corporelle et la qualité de la viande dans des conditions d'élevage semi intensives.

Matériels et méthodes

Un total de 140 animaux (70 porcs LW et 70 porcs CR) issus du troupeau de l'Unité Expérimentale de Santé et de Production Animale du centre INRA de la Guadeloupe a été utilisé dans le cadre de 2 essais. Dans le premier essai, 63 animaux (32 CR et 31 LW) ont été abattus à 150 jours d'âge soit à un poids vif (PV) moyen de 60 et de 90 kg respectivement, pour les CR et les LW. Dans le second essai, 79 animaux (40 CR et 39LW) ont été abattus à un PV constant de 90 kg soit à un âge moyen de 156 et 188 jours, respectivement, pour les CR et les LW. Les animaux sont abattus après 24 heures de mise à jeun. Au moment de l'abattage, le sang est récupéré puis pesé. Les reins, le foie, l'ensemble cœur poumon trachée, la rate le tube digestif vidé, la carcasse chaude (incluant la tête, les pieds, les hampes et les pannes) sont également pesés le jour de l'abattage. Le lendemain de l'abattage, le poids de la carcasse ressuyée (avec tête, pieds, hampes et pannes) est noté. Après la découpe selon la méthode Européenne Normalisée de la demi carcasse gauche, les morceaux commerciaux (jambon, longe, bardière, poitrine, épaule) sont également pesés.

Le pH ultime est mesuré directement sur un muscle du jambon (demi-membraneux) et deux muscles de la longe au niveau de la 7^{ème} côte dorsale (long dorsal et semispinalis). Un prélèvement de LD au niveau de la 7^{ème} côte est réalisé pour la mesure de la teneur en lipides intra musculaires. Un morceau de LD est également prélevé au niveau de la 6^{ème} côte dorsale pour une mesure des pertes d'eau au ressuyage (48 heures à 3°C) et à la cuisson (30 min à 75°C) selon la méthode de Honikel (1998). Un échantillon de bardière est prélevé pour une analyse de la teneur en lipides totaux et de la composition en acides gras (AG).

Les données ont été soumises à une analyse de variance prenant en compte les effets du type génétique (TG, 2 niveaux), de l'essai (E, 2 niveaux) et de l'interaction TG × E (4 niveaux). Pour le LW, l'effet de l'essai n'étant pas significatif, les résultats des 2 essais sont regroupés.

Résultats et discussion

A 150 jours d'âge, le poids vif vide des CR est réduit d'environ de 31 kg comparativement au LW. De plus, il faut environ 34 jours de plus au CR par rapport au LW pour atteindre un poids d'abattage de 90 kg de PV. Ces résultats confirment ceux précédemment obtenus en Guadeloupe et à Cuba (Rinaldo et al 2003). Cette moindre croissance des porcs CR est associée à une faible croissance musculaire et un dépôt adipeux important. A 150 jours d'âge, la teneur en muscle de la carcasse est réduite de 11.4 % chez le CR ; cette différence s'accroît avec l'âge pour atteindre quasiment 20% chez des animaux abattus à 90 kg de PV. Cette augmentation plus précoce du dépôt de gras chez le CR a conduit Canope 1982) à préconiser un poids optimal de 65 kg pour ces animaux. Cette dégradation de la qualité de la carcasse est également rapportée chez les autres races locales métropolitaines Labroue et al 2000). A 90 kg de PV, le rendement de la carcasse est plus élevé chez le CR (+ 2.1%) en relation avec une diminution du poids relatif des viscères. Quel que soit l'âge d'abattage ou le type métabolique du muscle considéré, le CR a un pH ultime significativement supérieur par rapport au LW en accord avec les résultats de Deprès et al (1992) et Renaudeau et al (2003). Par ailleurs, la perte d'eau totale du Ld après ressuyage et cuisson est significativement inférieure chez le CR (-7%). Le pH ultime et le pouvoir de rétention d'eau étant considérés comme des bons indicateurs de la qualité technologique de la viande et notamment pour la fabrication du jambon cuit, nos résultats suggèrent que la viande de porc CR aurait de bonnes aptitudes pour ce type de transformation.

Tableau 1 : Effets du type génétique et du poids d'abattage sur la composition corporelle et la qualité de la viande (moyennes ajustées).

Type génétique Essai	Créole		Large White	ETR ¹	Statistiques ²		
	1	2	1 et 2		TG	E	TG×E
PV vide à l'abattage, kg	57.9 ^a	87.6 ^b	88.7 ^b	5.2	***	***	**
Age à l'abattage, j	151 ^a	188 ^b	154 ^a	10	***	***	**
Rendement carcasse, % ³	72.1 ^a	77.2 ^b	75.1 ^c	1.5	NS	***	***
Taux de muscle, %	43.2 ^a	35.6 ^b	54.6 ^c	3.8	***	***	**
pH long dorsal (Ld)	5.8 ^a	5.7 ^a	5.6 ^b	0.1	***	***	NS
pH demi membraneux	5.9 ^a	6.0 ^b	5.6 ^c	0.2	***	***	**
pH semispinalis	6.0 ^a	6.1 ^a	5.9 ^b	0.2	***	*	NS
Perte d'eau totale Ld, % ⁴	35.2 ^a	35.0 ^a	42.0 ^b	2.6	***	*	NS
Lipides intramusculaire Ld, %	3.5		2.4				
Rapport AGs/AGpi dans la bardièrè ⁵	2.1		1.6				

¹ Ecart type résiduel du modèle. ² Analyse de variance tenant compte des effets du type génétique (TG), de l'essai (E) et de l'interaction TG × E. Niveaux de signification : *** P < 0.001, ** P < 0.01, * P < 0.05. ³ Rendement carcasse calculé sans la tête. ⁴ La perte d'eau totale (ressuyage + cuisson) est analysée selon le modèle précédent avec le poids du prélèvement de Ld en covariable. ⁵ AGs=Acide gras saturés, AGpi = acides gras polyinsaturés.

Le génotype affecte significativement la teneur en lipides intra musculaires dans le muscle Ld. La plus forte teneur en lipides intramusculaires chez le CR (3.5 vs. 2.4 %) est cohérente avec sa plus forte adiposité corporelle. De nombreux travaux disponibles dans la bibliographie montrent qu'il existe une relation claire entre la teneur en lipides intramusculaires et les différentes composantes de la qualité organoleptique de la viande (flaveur, jutosité et tendreté) (revue de Lebre et al 1999), ce qui laisse supposer que pour ces critères le porc CR est également supérieur au LW. Enfin, l'augmentation de la teneur en AG saturés dans la bardièrè chez les CR au détriment des AG polys insaturés traduit une importante synthèse de novo des AG. Cette diminution de l'insaturation des AG de la bardièrè a des conséquences positives sur la qualité technologique du gras (en diminuant le point de fusion) mais induit une diminution de sa qualité nutritionnelle (Mourot et Hermier 2001).

Conclusion

Cette étude confirme la supériorité de porc CR en ce qui concerne la qualité de sa viande. Cependant, d'autres travaux sont nécessaires pour limiter l'état d'adiposité des carcasses par une conduite alimentaire adéquate et pour évaluer la qualité des produits transformés à base de viande de porc CR.

Référence Bibliographiques

- Canope I., 1982. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse. 183 pages.
 Deprès E., Tamisier F., Naves M., Rinaldo D., 1992. Journées Rech. Porcine, 24, 17-24.
 Honikel K. O., 1998. Meat Science, 49, 447-457.
 Labroue F., Goumy S., Gruand J., Mourot J., Neelz V., Legault C., 2000. Journées Rech. Porcine, 32, 403-411.
 Lebre B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. INRA Productions Animales, 12, 11-28.
 Mourot J. et Hermier D., 2001. Reprod. Nutr. Dev., 41, 109-118.
 Renaudeau D., Hilaire M., Weisbecker J. L., Mourot J., 2003. Journées Rech. Porcine, 35, 243-250.
 Rinaldo D., Canope I, Christon R., Rico C., Ly J., Dieguez F., 2003. Pig News Inform., 24, 17-26.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Arjourmin, B. Bocage, T. Etienne, G. Gravillon, M. Hilaire, F. Silou à l'INRA de Petit Bourg et A. Mounier et G. Robin à l'INRA de St Gilles pour leur aide lors des abattages et lors des dosages, et la Communauté Européenne (FEOGA-FEDER) et la région Guadeloupe pour leur soutien financier pour la réalisation de ce travail.

EXPRESSION DES ISOFORMES RAPIDES DE CHAINES LOURDES DE MYOSINE DANS LE MUSCLE PECTORALIS MAJOR DE POULET : EFFET DE LA SELECTION POUR LA CROISSANCE ET DE LA NUTRITION PRECOCE

BERRI C., HAJ HATTAB N., GODET E., DUCLOS M.J. ¹

INRA, Station de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly,

Contexte et objectifs

La différenciation contractile du muscle est liée à l'expression séquentielle de différentes isoformes de chaînes lourdes de myosine (MyHC). Ainsi, les fibres musculaires expriment en premier lieu des formes dites embryonnaires, puis néonatales et enfin adultes. Une des particularités des muscles aviaires est leur capacité à exprimer des isoformes de MyHC développementales (embryonnaires ou néonatales) dans le muscle mature (Crow & Stockdale 1986b). Cette capacité est en particulier responsable de la diversité au sein des fibres à contraction rapide aviaires, qui selon le muscle expriment des proportions différentes en isoformes de MyHC rapides (embryonnaire, néonatale, adulte). L'objectif de la présente étude est de déterminer l'impact de la sélection pour la croissance et de la nutrition précoce sur la cinétique d'expression en MyHC au cours du développement du muscle *Pectoralis major*.

Matériel et méthodes

Nous avons étudié la cinétique de croissance et l'expression en isoformes rapides de MyHC (embryonnaire 3, néonatale, adulte) de poulets provenant de deux génotypes sélectionnés de manière divergente pour ou contre la croissance. Les poussins des deux génotypes ont été soit nourris dès l'éclosion soit laissés à jeun pendant 2 jours puis nourris. A 15 et 18 jours *in ovo*, à l'éclosion puis à 2, 4, 7 et 43 jours post-éclosion, les animaux ont été pesés, sacrifiés puis nous avons prélevé leur muscle *Pectoralis major* (PM). Les ARN totaux du muscle ont été préparés puis rétro-transcrits. Nous avons choisi des paires d'amorces spécifiques à partir des séquences publiées et nous avons quantifié l'expression des gènes codant pour les isoformes de MyHC embryonnaire 3, néonatale et adulte par RT-PCR en temps réel. Les niveaux de messagers des gènes cibles ont été normalisés par ceux d'un gène de référence (ARNr 18S), dont l'expression ne varie pas. Les effets âge, génotype et régime ont été testés par la procédure GLM du logiciel SAS (SAS, 1989).

Résultats

Le poids des poulets issus du génotype lourd, sélectionné pour la croissance, est supérieur à celui des poulets légers dès 15 jours de vie embryonnaire. Le poids du muscle PM est lui aussi supérieur chez les poulets lourds sauf à l'éclosion (Tableau 1). Le décalage de 2 jours après l'éclosion du premier repas des poussins a pour conséquence un retard de croissance chez les animaux lourds, qui est significatif à 2, 4, 7 et 43 jours. Ce décalage a aussi entraîné un retard de développement des muscles PM, significatif pour les poulets lourds à tous les stades post-éclosion étudiés et pour les poulets légers seulement aux stades 2 et 4 jours. Il existe une interaction génotype x régime à partir de 4 jours pour la croissance et à 4 et 7 jours pour les poids de muscles PM, les animaux lourds répondant plus à l'effet du décalage du premier repas que les animaux légers. Ce dispositif expérimental nous permet donc d'étudier la cinétique d'expression des isoformes de MyHC au cours du développement musculaire en relation avec la vitesse de croissance des animaux, au travers des effets génotype et régime.

Tableau 1 : Poids (g) des muscles *Pectoralis major* (n = 7 animaux par traitement)

Age	Génotype léger		Génotype lourd		Effet génotype		
E15	0,250 ^b		0,315 ^a		*		
E18	0,300 ^b		0,441 ^a		**		
J0	0,391		0,440		NS		
	Nourris	A jeun 2 jours	Nourris	A jeun 2 jours	Effet génotype	Effet régime	Génotype x régime
J2	0,445 ^b	0,335 ^c	0,545 ^a	0,368 ^c	*	***	NS
J4	0,631 ^b	0,478 ^c	1,156 ^a	0,751 ^b	***	***	*
J7	1,580 ^c	1,264 ^c	4,172 ^a	2,950 ^b	***	***	***
J43	26,61 ^c	26,25 ^c	99,32 ^a	91,56 ^b	***	NS	NS

^{a, b, c, d} Sur une ligne, les moyennes avec des lettres identiques ne diffèrent pas significativement ($P > 0.05$).

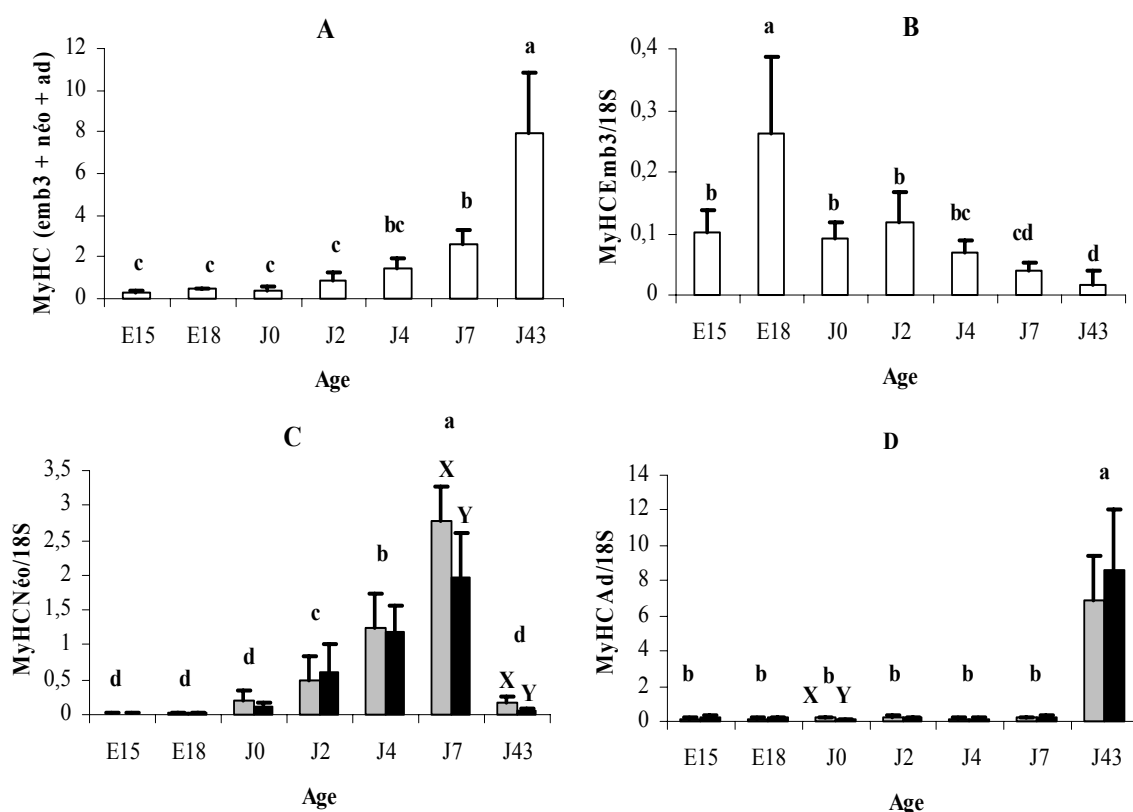
* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$, NS : non significatif

L'expression globale des trois isoformes rapides de MyHC (figure 1A) augmente très significativement avec l'âge des animaux. Elle est en moyenne 25 fois plus élevée chez un poulet de 6 semaines que chez un embryon de 15 jours. Le muscle PM exprime les formes rapides embryonnaire 3, néonatale et adulte, mais la forme majoritaire n'est pas la même selon l'âge : à 15 jours de vie embryonnaire c'est la forme adulte, à 18 jours de vie embryonnaire l'isoforme embryonnaire 3, entre l'éclosion et 7 jours la forme néonatale, et à 43 jours la forme adulte (figure 1B, C, D). L'expression de l'isoforme de MyHC rapide embryonnaire 3 augmente entre 15 et 18 jours de vie *in ovo*, puis diminue progressivement au cours du

temps pour être négligeable après 7 jours de vie post-éclosion. A partir de 2 jours post-éclosion, l'expression de la MyHC néonatale augmente significativement jusqu'à 7 jours, pour diminuer ensuite entre 7 et 43 jours. Enfin, l'expression de l'isoforme adulte est très faible jusqu'à 7 jours, puis augmente très fortement entre 7 et 43 jours. A 43 jours la forme adulte représente 98% des MyHC rapides.

La cinétique d'expression des 3 isoformes de MyHC n'est pas influencée par la nutrition précoce des poussins, bien que l'on ait observé un effet significatif sur la croissance globale et celle des muscles pectoraux. Entre 15 jours *in ovo* et 4 jours de vie post-éclosion, l'expression des 3 isoformes de MyHC étudiées est quasiment similaire pour les deux génotypes lourd et léger, qui pourtant présentent des vitesses de croissance très différentes. Seule l'expression de l'isoforme adulte est supérieure dans le muscle PM des poulets légers à l'éclosion (figure 1D). A 7 et 43 jours, l'expression de l'isoforme néonatale est significativement plus élevée chez les poulets légers à croissance lente que chez les poulets lourds à croissance rapide (figure 1C). Par contre, même si l'expression des MyHC adulte est légèrement supérieure chez le génotype lourd, il n'y a pas d'effet significatif du génotype sur l'expression de cette isoforme au même âge (figure 4).

Figure 1 : Niveaux d'expression relatifs des ARNm codant pour les 3 isoformes de MyHC rapides étudiées. A : MyHC emb3 + néonatale + adulte, B : MyHC embryonnaire 3, C : MyHC néonatale, D : MyHC adulte. ■ Génotype lourd, □ Génotype léger a, b, c, d : effet âge ; X, Y : effet génotype.



Conclusions

Nos résultats montrent que la transition entre isoformes néonatale et adulte est plus précoce dans le muscle PM des poulets lourds à croissance rapide. Ceci suggère que la sélection pour la croissance a modifié la cinétique de différenciation contractile du muscle au cours du développement. Par ailleurs, la diminution de l'expression de la forme néonatale au profit de l'expression de la forme adulte serait un marqueur de maturité du muscle PM.

Références

- Crow M.T., Stockdale F.E., 1986. Dev. Biol. 113: 238-54.
 SAS Institute. 1989. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Qualité de la chair des poissons

Session 2

Animateurs

LEFEVRE F.
ROBIN J.

INRA Rennes
Ifremer Brest

Conférence

Session 2

|

|

CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES DES POISSONS ET FACTEURS DE VARIATIONS

MEDALE F.

**Equipe Nutrition et métabolisme en aquaculture, UMR NuAGE,
Station d'hydrobiologie INRA, Quartier Ibarron, 64310, Saint-Pée-sur-Nivelle, France.**

Introduction

La chair des poissons se différencie de celle des autres animaux élevés pour leur viande à la fois par l'organisation structurale des muscles qui la constituent et par ses composants. Le terme générique de poisson recouvre une très grande diversité d'espèces (près de 30 000) dont la variété des habitats et des préférences alimentaires induisent de fortes disparités pour certains des constituants de la chair. Cependant la plupart des espèces de poissons partagent des caractéristiques communes : des protéines de haute valeur biologique dont la teneur est comparable à celle des autres produits carnés, une richesse exceptionnelle en acides gras longs polyinsaturés (AGPI) de la série n-3, des minéraux et oligo-éléments particuliers tels phosphore, sélénium, iode et fluor ainsi que des vitamines (B et PP notamment).

A l'échelle mondiale, la demande en poisson pour la consommation humaine est en constante progression. Or, depuis une vingtaine d'années, les captures de pêches stagnent autour de 85 millions de tonnes par an. Le développement de la pisciculture est donc nécessaire pour répondre à la demande. Actuellement, plus de 30% des poissons consommés dans le monde proviennent de l'élevage (Girard et Pacquotte, 2003). Outre la fiabilité des approvisionnements, la traçabilité et la fraîcheur, l'un des atouts de l'élevage piscicole est la possibilité de moduler la composition et la qualité de la chair des poissons, en particulier par l'alimentation.

La chair des poissons

La chair des poissons est composée de deux principaux types de muscles qui se distinguent par la nature des fibres qui les composent majoritairement :

- le muscle rouge, de type oxydatif : il est généralement présent sous forme d'une fine couche située sous la peau ; il est plus abondant sur les flancs du poisson. Sa proportion dans la chair varie d'une espèce à l'autre ;
- le muscle blanc, de type glycolytique : il est quantitativement le plus important puisqu'il représente jusqu'à 50% de la masse corporelle du poisson.

Les muscles sont constitués d'une mosaïque de fibres de différents diamètres car leur croissance, continue au cours de la vie du poisson, résulte à la fois de phénomènes d'hyperplasie (augmentation du nombre de fibres) et d'hypertrophie (augmentation de la taille des fibres). Le tissu conjonctif, composé principalement de collagène (88 à 98 % de collagène et de 2 à 12 % d'élastine) enveloppe chaque fibre (endomysium) ainsi que les faisceaux de fibres (perimysium). Il est aussi le constituant majoritaire des myoseptes, cloisons qui séparent les feuillettes musculaires (myomères). La chair des poissons contient en moyenne 70 à 80 % d'eau, 16 à 22 % de protéines, peu de glycogène (moins de 1% en général) et des lipides en quantité très variable (1 à 20 % selon les espèces et leur alimentation). Le muscle blanc contient davantage de protéines que le muscle rouge mais moins de lipides et de glycogène.

Lipides, acides gras et composés liposolubles

Les lipides sont présents dans les muscles des poissons sous deux formes :

- des lipides polaires ou phospholipides : composants majeurs des membranes cellulaires, leur teneur et leur composition sont relativement constantes. Les phospholipides représentent moins de 1% du poids du muscle ; ils sont principalement composés de phosphatidylcholine (50 à 60 % des phospholipides) et de phosphatidyl éthanolamine (20 à 30% des phospholipides) (Aursand et al., 1994). Ils se caractérisent par une grande richesse (jusqu'à 60%) en AGPI à longue chaîne, avec une prépondérance de l'acide eicosapentaénoïque (EPA, C20:5 n-3) et de l'acide docosahéxaénoïque (DHA, C22:6 n-3) (Henderson et Tocher, 1987; Ingemansson et al., 1991). Ces acides gras permettent de maintenir la fluidité membranaire, même à basse température.

- des lipides neutres ou lipides de réserve : ils contiennent un peu de cholestérol, principalement sous forme d'esters (20 à 80 mg/100g dans la chair des différentes espèces de poissons) mais sont constitués essentiellement par des triglycérides eux aussi caractérisés par une proportion élevée d'AGPI de la série n-3. La teneur en AGPI n-3 de la chair de poisson varie entre 15 et 36% alors qu'elle n'est que de 1% chez le porc, 2% chez le bœuf et 4% chez le poulet (Gandemer, 1992). Cette richesse en AGPI n-3, encore plus importante en milieu marin, est liée à la forte concentration en AGPI n-3 dans la chaîne alimentaire aquatique (Sargent et al., 1989), la composition en acides gras des triglycérides de la chair étant le reflet de celle des lipides alimentaires (Henderson et Tocher, 1987; Corraze et Kaushik, 1999).

Les lipides de réserve ne sont pas stockés de façon uniforme dans la chair. Comme indiqué précédemment, le muscle blanc contient moins de lipides que le muscle rouge. Les lipides y sont stockés dans des adipocytes dispersés entre les fibres musculaires et particulièrement abondants au sein des myoseptes, alors que dans le muscle rouge, ils sont stockés à

l'intérieur même des fibres (Zhou et al., 1996). Il existe aussi, chez de nombreuses espèces, des gradients de dépôts lipidiques dans le muscle blanc : chez les salmonidés par exemple, la partie ventrale du filet est généralement plus grasse que la partie dorsale et la partie antérieure plus grasse que la partie postérieure (Katikou et al., 2001).

Teneur en lipides de la chair de poisson

Alors que la teneur en phospholipides est assez constante, la teneur en triglycérides est extrêmement variable en fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge des poissons, de leur état de maturation sexuelle et du contenu énergétique de leur alimentation.

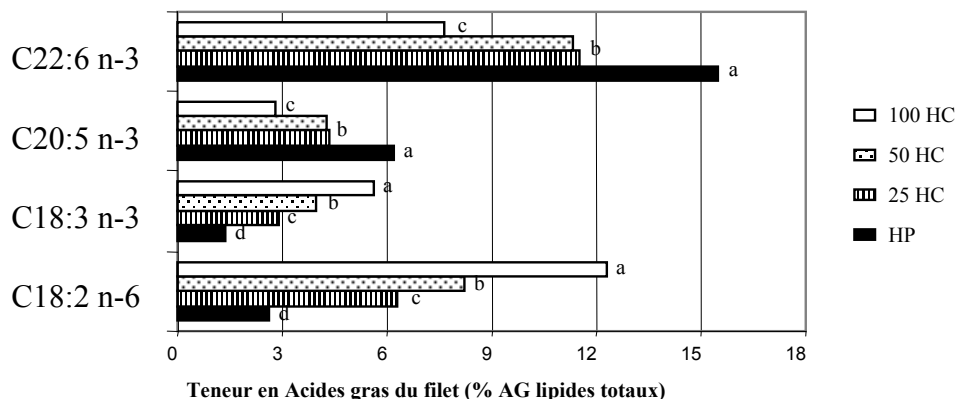
Chez les poissons, les lipides peuvent être stockés dans plusieurs tissus et l'importance relative des différents sites de stockage varie selon les espèces : foie chez les espèces marines comme la morue ou le bar, muscle chez l'anguille et le maquereau, tissu adipeux périviscéral et, dans une moindre mesure, muscle chez les salmonidés, tissu adipeux sous-cutané chez le turbot. La capacité du tissu musculaire à stocker les lipides sert d'ailleurs de base à une classification des poissons. Ainsi, on distingue des poissons maigres, comme la morue, l'églefin ou le turbot, qui ont des teneurs en lipides dans le muscle inférieures à 1% et déposent massivement les lipides dans le tissu hépatique (jusqu'à 75% du poids du foie), des poissons gras, tels que le hareng, le maquereau, l'anguille, qui ont des teneurs en lipides dans le muscle supérieures à 15%, et des poissons dits "intermédiaires" qui déposent les lipides dans le muscle mais aussi dans d'autres sites tels que le tissu adipeux périviscéral comme c'est le cas pour les salmonidés par exemple (Henderson et Tocher, 1987; Sheridan, 1994; Ackman, 1995).

Chez toutes les espèces, la teneur en lipides du muscle augmente avec l'âge et la taille des individus alors que la teneur en eau diminue. Les réserves lipidiques musculaires varient également au cours du cycle sexuel. Durant la période de maturation des gonades, on observe une intense mobilisation des lipides. Chez les salmonidés, la teneur en lipides du muscle est diminuée de 40 à 60% dans la période qui précède la ponte (Aksnes et al., 1986; Nassour et Léger, 1989). Dans les élevages, cette mobilisation des réserves énergétiques tissulaires au profit des œufs, est évitée en stérilisant les femelles à un stade très précoce (triploïdisation par choc thermique ou de pression juste après la fécondation). Il existe aussi un déterminisme génétique assez fort (héritabilité de 0.2 à 0.47) pour la teneur en lipides musculaires et ce critère est de plus en plus souvent introduit dans les schémas de sélection, au moins pour les salmonidés (Gjedrem, 1997; Kause et al., 2002; Quillet et al., 2002). Cependant, le facteur majeur de variation de la teneur en lipides de la chair est l'alimentation et en particulier le contenu énergétique de l'aliment.

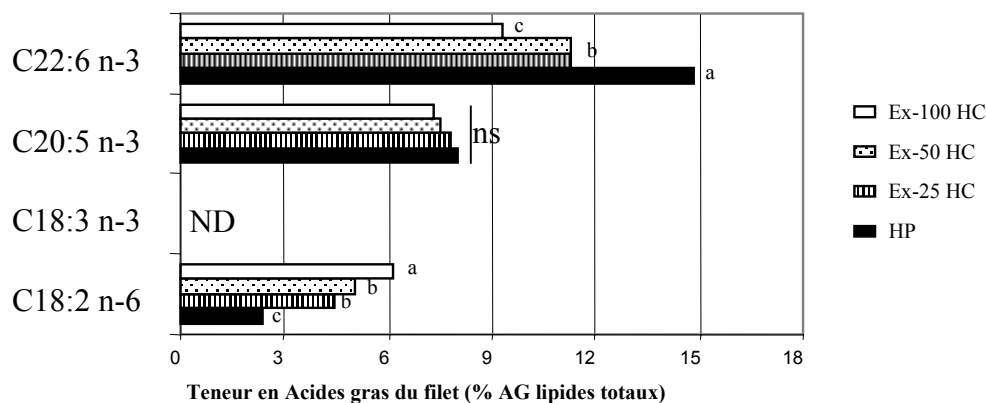
Au cours des 25 dernières années, la composition des aliments piscicoles (pour salmonidés et poissons marins en particulier) a évolué dans le but de favoriser l'épargne des protéines et de réduire les rejets azotés polluants, issus du catabolisme protéique. Les poissons d'élevage sont maintenant nourris avec des aliments moins riches en protéines mais plus concentrés en énergie, apportée principalement par des lipides (taux parfois supérieur à 40% dans les aliments pour saumons - Hemre et Sandness, 1999), les lipides étant mieux digérés par les poissons que les glucides. Les régimes à forte teneur en lipides conduisent à une augmentation des lipides corporels accompagnée d'une diminution de la teneur en eau chez pratiquement toutes les espèces (Takeuchi et al., 1978; Corraze et Kaushik, 1999). Ce sont les triglycérides de réserve qui sont responsables de la quasi-totalité de l'accroissement observé, la teneur en phospholipides restant stable (Takeuchi et al., 1978). Les variations concernent en premier lieu le site préférentiel de stockage des lipides cependant des variations de la teneur en lipides du muscle sont aussi observées chez les poissons dits maigres ou intermédiaires (Einen et Skrede, 1998; Santinha et al., 1999; Régost et al., 2001). Un accroissement de la teneur en lipides du muscle se produit aussi lorsque l'alimentation est riche en glucides digestibles (Kaushik et al., 1989; Shimeno et al., 1995). Par contre, la nature des huiles et des sources protéiques incorporées dans l'aliment n'a pas de répercussions notables sur les quantités de lipides stockées dans le muscle des poissons, dans la mesure où ces régimes couvrent les besoins pour la croissance des poissons (Kaushik et al., 1995; Bell et al., 2003; Régost et al., 2003).

Pour éviter que les poissons d'élevage ne soient jugés « trop gras », différentes stratégies peuvent être mises en œuvre, dans les mois précédant l'abattage, pour maîtriser la quantité de matières grasses de la chair : jeûne, restriction alimentaire ou alimentation à faible taux de lipides. Le jeûne prolongé, s'il permet de réduire la quantité de lipides du muscle, entraîne aussi une perte de poids et une diminution du rendement en filet (Régost et al., 2001; Rasmussen, 2001); en outre, cette pratique va à l'encontre des efforts visant à limiter le stress des animaux en élevage. La restriction alimentaire (distribution de ration en deçà de la satiété) limite les dépôts (Johansson et al., 2000) mais la mobilisation des graisses musculaires paraît moins efficace qu'avec une alimentation de finition à faible teneur en lipides (Rasmussen et al., 2000; Rasmussen, 2001; Régost et al., 2001).

16 semaines d'alimentation avec différents mélanges d'huiles



4 semaines d'alimentation de finition à base d'huile de poisson



12 semaines d'alimentation de finition à base d'huile de poisson

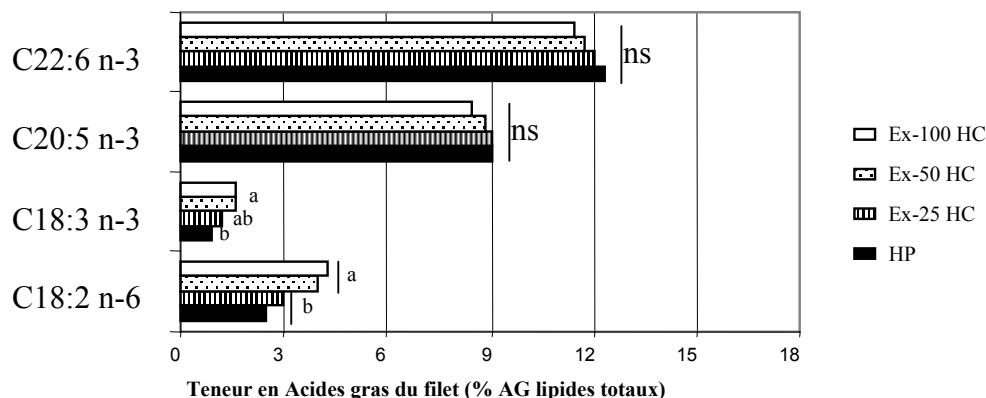


Figure 1 : Evolution des teneurs en acide linoléique (C18:2 n-6), en acide linoléique (C18:3 n-3), en acide eicosapentaénoïque (C20:5 n-3) et en acide docosahexaénoïque (C22:6 n-3) dans le muscle du saumon atlantique nourri pendant 16 semaines avec différents mélanges d'huiles dans le régime (HP : 100% huile de poisson, 25 HC : 25% Huile de colza + 75% huile de poisson, 50 HC : 50% huile de colza + 50% huile de poisson, 100 HC: 100 % huile de colza, les autres ingrédients des régimes sont identiques, le taux de lipides alimentaires est de 26,5 %) puis nourri pendant 4 et 12 semaines avec l'aliment HP. Graphes réalisés d'après les données de Bell et al., 2003.

Composition en acides gras

La richesse en AGPI de la série n-3, qui distingue le poisson des autres produits carnés, est sous la dépendance quasi exclusive de l'alimentation : chaîne trophique aquatique en milieu naturel, aliments à base d'huile de poisson en élevage. Il semble qu'aucun autre facteur (génotype, âge, conditions d'élevage...) n'affecte la composition en acides gras de la chair des poissons, à l'exception de la température, l'efficacité de rétention des AGPI n-3 étant accrue à basse température, sans doute en raison de leur rôle dans la fluidité membranaire (Bendiksen et Jobling, 2003).

L'essor de l'aquaculture, qui utilise de plus en plus d'aliments composés riches en lipides, a fait augmenter fortement la demande en huile de poisson. En parallèle, la stagnation des captures de pêche limite la disponibilité de cette matière première. L'aquaculture est confrontée aujourd'hui au double défi de réduire l'emploi de matières premières issues de la pêche pour l'alimentation des poissons d'élevage et de conserver à la chair de poisson la valeur santé que lui confère sa richesse en AGPI n-3. C'est un enjeu important en terme de santé publique car les effets bénéfiques de ces composés sont bien démontrés tant dans la prévention des accidents vasculaires (Ascherio et al., 1995; Connor, 2000) que pour le développement cérébral (Broadhurst et al., 1998; Arts et al., 2001).

Les recherches se sont donc intensifiées, au cours des cinq dernières années, pour évaluer les conséquences du remplacement partiel ou total de l'huile de poisson par des huiles d'origine végétale.

Toutes les études montrent que l'apport d'AGPI n-3 via l'huile de poisson n'est pas indispensable à la croissance des poissons, dès lors que les besoins en AGPI n-3 (Kaushik, 2004) sont couverts par les acides gras contenus dans la farine de poisson. Dans ces conditions, la substitution, dans l'aliment, de l'huile de poisson par des huiles végétales n'affecte pas non plus la quantité de lipides déposés dans le muscle. En revanche, la composition en acides gras de la chair des poissons est fortement modifiée par la nature des sources lipidiques du régime alimentaire (Figure 1) (Caballero et al., 2002; Bell et al., 2003; Glencross et al., 2003; Regost et al., 2003; Torstensen et al., 2004).

Les huiles végétales sont généralement riches en acides gras de la série n-6 ou n-9 (à l'exception de l'huile de lin, riche en C18:3 n-3) alors que les huiles de poissons sont riches en C20:5 n-3 (EPA) et C22:6 n-3 (DHA). Le remplacement de l'huile de poisson par des huiles végétales induit une augmentation des teneurs en acides gras caractéristiques de l'huile de substitution et une diminution des teneurs en EPA et en DHA (Figure 1). En raison de la forte dépendance du profil en acides gras de la chair à celui de l'aliment, il est relativement aisé de restaurer des teneurs élevées en EPA et DHA, en nourrissant les poissons, quelques mois avant l'abattage, avec un aliment à base d'huile de poisson après un cycle d'élevage avec des aliments contenant des huiles végétales (Bell et al., 2003; Regost et al., 2003; Torstensen et al., 2004).

Cette stratégie permet de limiter l'utilisation des ressources marines pour l'élevage tout en préservant la richesse en AGPI n-3 de la chair des poissons. Des travaux sont encore nécessaires pour trouver les substituts les plus efficaces pour optimiser le rapport n-3/n-6 de la chair, le C18:2 n-6 persistant dans le muscle, longtemps après l'arrêt d'une alimentation à base d'huile végétale (Figure 1). Il reste aussi à définir précisément la durée optimale de la phase « d'alimentation de finition » nécessaire pour obtenir la composition en acides gras souhaitée sans « gaspiller » d'huile de poisson.

PCBs et dioxines

Au début de l'année 2004, une publication d'une équipe américaine (Hites et al, 2004) accompagnée d'une médiatisation sans précédent, dénonçait le risque pour la santé humaine de consommer plus d'une fois par mois des saumons élevés en Europe du Nord en raison de la présence de dioxines et PCBs dans la chair de ces animaux. Les dioxines regroupent un ensemble de composés appartenant aux polychloro-dibenzo-para-dioxines (PCDD) et polychloro-dibenzo-furannes (PCDF). Certains PCBs, hydrocarbures aromatiques poly cycliques, ayant une structure chimique et des propriétés toxiques proches des dioxines, sont dénommés "PCBs apparentés aux dioxines". Du fait de leur toxicité et de leurs capacités d'accumulation et de persistance dans les tissus, ces composés, principalement d'origine industrielle, sont classés parmi les polluants organiques persistants (POP). Ils peuvent s'accumuler dans toute la chaîne alimentaire, y compris dans le milieu aquatique. Liposolubles, ils sont retrouvés concentrés dans les organismes ayant une teneur en matières grasses élevée et vivant dans des zones contaminées.

Conscient de la contamination de certaines zones de pêche comme de certains sols, le comité scientifique en alimentation animale (SCAN) de l'Union Européenne a fixé, dès 2001, des limites pour chacun des groupes d'ingrédients pouvant entrer dans l'alimentation des animaux (6 pg WHO-TEQ/g pour l'huile de poisson, WHO-TEQ étant l'unité de charge toxique définie par la World Health Organisation). Le respect de ces normes permet de limiter la présence de ces composés dans la chair des poissons d'élevage et d'offrir au consommateur des produits sans risque pour la santé. La dose maximale admissible pour la consommation humaine est fixée, selon les différents groupes d'experts, de 1 à 4 pg/ kg poids corporel/jour. D'après l'étude réalisée par Karl et al. (2003) cette limite n'est pas atteinte pour une personne de 70 kg consommant 100 g de filet de truite/jour, même lorsque la truite a été nourrie avec des aliments contenant ces contaminants en concentration supérieure à la limite autorisée. La concentration en dioxines et PCBs dans la chair est hautement corrélée (R=0,98) à celle de l'aliment, elle diminue aussi lorsque le taux de ces substances dans l'aliment baisse. D'après Lundebye et al. (2004), les PCBs s'accumulent davantage que les dioxines dans la chair du saumon. Des procédés ont été développés pour éliminer les dioxines et PCBs des huiles destinées à la consommation humaine mais le coût est encore trop élevé pour appliquer ces procédés aux ingrédients pour l'alimentation animale. La diminution des quantités d'huiles de poisson incorporées dans les aliments est une autre alternative pour diminuer les risques de présence de ces composés dans la chair des poissons d'élevage. Cependant, pour le bénéfice de toutes les productions, il convient de prendre des mesures pour que les émissions d'origine industrielle soient réduites.

Les composants protéiques

Les caractéristiques particulières des lipides de la chair de poisson font parfois oublier que le poisson est, en premier lieu, une source de protéines pour l'alimentation humaine et, pour les populations de certains pays, la seule source de protéines animales. Malgré la très large variété taxonomique des poissons, la teneur en protéines des tissus musculaires est d'une constance remarquable. L'analyse de 540 espèces révèle une gamme de variation de 16 à 22 % (valeur moyenne 18,5%), les valeurs les plus basses étant trouvées dans le muscle rouge et les plus élevées dans le muscle blanc.

Le profil en acides aminés des protéines de la chair de poissons est semblable à celui des viandes. En revanche, les constituants protéiques sont présents dans des proportions différentes (Tableau 1) : davantage de protéines myofibrillaires et moins de protéines insolubles (Haard, 1992). La teneur en collagène, protéine insoluble constituant majeur du tissu conjonctif, est jusqu'à 10 fois plus faible que dans la viande de bœuf. Le collagène de la chair de poisson contient 2 à 3 fois moins d'hydroxyproline, acide aminé jouant un rôle déterminant dans la résistance mécanique du tissu conjonctif, ce qui participe aux différences de texture entre le poisson et les viandes.

Cette composition particulière rend les protéines de la chair des poissons aisément digestibles et d'une haute valeur biologique, comparable à la valeur biologique de la caséine. Contrairement aux lipides, la teneur et la composition des protéines n'est pas affectée de façon notable par l'âge des animaux et leur alimentation que ce soit le taux et les sources protéiques, le contenu énergétique ou la nature des lipides de l'aliment. Une exception concerne les acides aminés libres dont le profil est étroitement corrélé à celui de l'aliment (Kaushik et Luquet, 1980).

Il faut noter que la chair de poisson contient davantage d'acides aminés libres que les autres produits carnés (Tableau 1), ces composés jouant un rôle dans la régulation de la pression osmotique.

Tableau 1 : Composition azotée de la chair de poisson en comparaison de la viande de bœuf

	Chair de poisson	Viande de bœuf
Acides aminés libres (g / 100 g)	1,3 – 3,8	0,1 – 0,6
Protéines (g / 100 g)	16 - 22	20 - 23
Protéines myofibrillaires (%)	70 - 90	40 - 70
Protéines sarcoplasmiques (%)	10 - 25	15 - 28
Collagène (%)	3 - 10	15 - 30

Les micronutriments

Les caroténoïdes

Dans leur milieu naturel, les salmonidés consomment des invertébrés riches en pigments caroténoïdes, l'astaxanthine et la cantaxanthine, précurseurs de la vitamine A. Ces pigments donnent à leur chair sa couleur rose-orangée caractéristique. Les poissons n'étant pas capables de les synthétiser, les pigments caroténoïdes sont apportés par l'alimentation aux salmonidés d'élevage sous forme d'un mélange des deux pigments ou par l'astaxanthine seule (25 à 100 mg/kg d'aliment, maximum recommandé).

La fixation des pigments dans le muscle varie, comme celle des lipides, en fonction de l'âge, du cycle sexuel (Ytrestoyl et al., 2004) et de l'apport alimentaire (Storebakken et No, 1992; Choubert, 2001). La teneur en pigments dans le tissu musculaire augmente avec la quantité ingérée jusqu'à un plateau de l'ordre de 1 mg/100g. Les caroténoïdes étant des composés liposolubles, leur absorption est liée à celle des lipides alimentaires. L'augmentation du taux de lipides de l'aliment favorise la pigmentation en améliorant l'absorption des pigments. Par contre, la concentration en astaxanthine dans le muscle ne semble pas affectée par la nature des huiles de l'aliment. La source de pigments, en particulier la biodisponibilité des caroténoïdes et la durée d'administration sont aussi déterminantes. Enfin, il existe un déterminisme génétique de l'aptitude à la pigmentation avec une héritabilité élevée qui est maintenant exploitée dans les schémas de sélection des saumons.

Les vitamines

Le contenu en vitamines de la chair des poissons est très variable selon l'espèce, la saison et la zone géographique d'habitat, mais, comme pour les lipides, le facteur majeur de variation est l'apport alimentaire. Les vitamines liposolubles sont plus concentrées lorsque la chair est grasse (dépôts lipidiques dans le muscle blanc ou forte proportion de muscle rouge). Par exemple, le thon, dont le muscle rouge est particulièrement développé, ou le maquereau, dont la chair est grasse, contiennent des quantités appréciables de vitamines A et D (Lall et Parazo, 1995). La chair de saumon est, quant à elle, plus riche en vitamine A que D, en raison des pro-vitamines A apportées par l'alimentation sous la forme de pigments caroténoïdes. Parmi les vitamines liposolubles, la vitamine E a fait l'objet d'une attention particulière en raison de ses propriétés anti-oxydantes. Plusieurs études conduites chez différentes espèces de poissons démontrent l'efficacité des tocophérols et en particulier de l' α -tocophérol pour prévenir la peroxydation des lipides par des réactions radicalaires en chaîne et réduire ainsi la formation des composés issus de ces réactions tels que les malonaldéhydes (Frigg et al., 1990; Chaiyapechara et al., 2003). L'apport en vitamine E dans les aliments pour poissons d'élevage a dû être augmenté en même temps qu'augmentait le taux de lipides de façon à protéger les acides gras longs polyinsaturés, que la présence de doubles

liaisons rend sensibles aux réactions radicalaires. La teneur en vitamine E du muscle de poisson s'accroît avec le taux de vitamine E de l'aliment. La préservation de l'intégrité des acides gras de la chair par la vitamine E permet une meilleure conservation des qualités nutritionnelles du produit au cours du stockage : la concentration en malonaldéhydes, produits de la peroxydation des lipides, est d'autant plus faible que la chair est riche en vitamine E (Frigg et al., 1990; Bai et Gatlin, 1993; Baker, 2001; Chaiyapechara et al., 2003). En outre, la consommation de poissons dont la chair est enrichie en vitamine E via l'alimentation participe à la couverture des besoins de l'homme pour lequel l'apport journalier recommandé a été récemment ré-évalué à la hausse.

La teneur en vitamines hydrosolubles dans la chair de poisson augmente avec l'apport alimentaire jusqu'à atteindre un plateau correspondant à la saturation des capacités de stockage par le tissu musculaire. Il existe de fortes variations entre espèces dont l'origine n'est pas toujours connue. Parmi les aliments d'origine animale, le poisson est la meilleure source de vitamine B6 ; il est riche en vitamines B12 et PP. Les autres vitamines du groupe B sont présentes en quantités plus modestes mais contribuent à couvrir une partie des besoins des consommateurs. La teneur en vitamine B1 augmente avec la proportion de muscle rouge, elle est plus concentrée dans la chair des espèces d'eau douce que dans celle des poissons marins. L'inverse est observé pour la vitamine B2. La chair de poisson est pauvre en vitamine C (1 à 5 mg/100g). Le poisson n'étant pas capable de la synthétiser, il la puise dans son alimentation. Les poissons d'élevage peuvent en contenir jusqu'à 100 mg/kg de muscle en raison d'une supplémentation des aliments en acide ascorbique de synthèse.

Les minéraux et oligo-éléments caractéristiques

Les organismes aquatiques puisent ces micro-nutriments à la fois dans leur nourriture et dans l'eau. L'apport par l'eau est bien plus important pour les poissons marins que pour les poissons d'eau douce. En effet, en eau de mer, les poissons doivent absorber de grandes quantités d'eau pour compenser la différence de pression osmotique entre leur milieu intérieur, hypotonique, et le milieu aquatique, riche en sels. La chair de poisson contient plus de 60 micro-éléments. Malgré leur importance d'un point de vue nutritionnel, ils ont été beaucoup moins bien étudiés que les autres constituants musculaires. Seuls les plus caractéristiques sont évoqués ici. Des informations plus complètes sont données dans la synthèse de Lall (1995).

La majeure partie des minéraux sont stockés dans le squelette, les vertèbres en particulier, cependant on en trouve aussi dans la chair des poissons. Le potassium est l'élément minéral le plus abondant, sa concentration est semblable à celle des viandes (300 à 500 mg/kg). La chair de poisson se caractérise aussi par sa richesse en phosphore (8 à 15 fois plus que les viandes) qui est apporté majoritairement par l'alimentation. Le calcium, que le poisson puise dans l'eau, est présent en faible quantité dans la chair. Enfin, contrairement à sa réputation, le poisson n'apporte pas davantage de sodium que les viandes. Cependant la chair des poissons marins en contient 2 fois plus que celle des poissons d'eau douce, en raison de la richesse en sodium du milieu marin.

Le poisson est considéré comme une source majeure de sélénium pour l'alimentation humaine. Dans la chair, le sélénium est principalement associé aux protéines solubles. Sa biodisponibilité pour l'homme dépend de la digestibilité des protéines, le sélénium de la chair de poisson est donc bien absorbé. Sa concentration dans la chair est très dépendante de la concentration dans l'eau. Elle peut varier, pour une même espèce, entre 0,1 et 3,3 mg/kg en fonction de la zone d'habitat. Les poissons d'élevage sont généralement plus riches en sélénium que les poissons sauvages car ils bénéficient d'un apport supplémentaire par l'alimentation (Satovic et Bekker, 2004).

En effet, du sélénium est incorporé aux aliments comme antioxydant afin de préserver les AGPI des risques d'oxydation. Le contenu en fer de la chair de poisson est principalement lié à la concentration dans l'eau. Il est très variable d'une espèce à l'autre (Lall, 1995) et les différences semblent liées en partie à la proportion de fibres rouges. Le muscle rouge, mieux vascularisé, est beaucoup plus riche en fer que le muscle blanc. Il peut contenir jusqu'à 60 mg Fe /kg c'est à dire 2 à 3 fois plus que la viande de bœuf. Ainsi, le thon est une très bonne source de fer. Dans les aliments destinés aux poissons d'élevage, l'apport en fer est limité aux strictes valeurs recommandées en raison de ses capacités pro-oxydantes. La chair de poisson contient 10 à 100 fois plus d'iode que les viandes. Il existe aussi de fortes variations entre espèces (de 0,3 à 3 mg/kg), les poissons marins étant en général plus riches en iode que les poissons d'eau douce. Enfin, parmi tous les aliments d'origine animale, le poisson a le contenu en fluor le plus élevé (5 à 10 fois plus que les viandes). Bien que ce composé soit principalement présent dans le squelette et dans la peau, le muscle de poisson en contient des quantités s'échelonnant entre 0,15 et 2 mg/kg. Ces variations sont principalement dues à l'alimentation (Lall, 1995).

Conclusions

La composition particulière de sa chair fait du poisson un aliment unique parmi les produits d'origine animale. La grande variété d'espèces et la co-existence sur le marché de poissons issus de la pêche et de l'élevage permet d'offrir une large gamme de produits y compris en terme d'intérêt nutritionnel. Les produits de l'élevage souffrent parfois d'une image négative en comparaison des produits de la pêche. Pourtant, il est dès à présent possible de contrôler de façon efficace la composition des poissons par les pratiques d'élevage à la fois pour limiter la présence de composés indésirables et pour optimiser la teneur en composés bénéfiques pour la santé humaine. Les recherches actuellement en cours devraient permettre de moduler encore plus précisément la qualité des produits en fonction du marché auquel il est destiné, en combinant la génétique, l'alimentation et la technologie de transformation.

Références bibliographiques

- Ackman R.G., 1995. In "Fish and Fishery Products", ed. Ruiter A., pp 117-156, CAB International, Oxon UK.
- Arts M.T., Ackman R.G., Holub B.J., 2001. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58, 122-137.
- Aksnes A., Gjerde B., Roald S., 1986. *Aquaculture*, 53, 7-20.
- Ascherio A, Rimm E.B., Stampfer M.J., Giovannucci E.L., Willet W.C., 1995. *New Engl J Med*, 332, 997-982.
- Aursand M., Bleivik B., Rainuzzo J.R., Jorgensen L., Mohr V., 1994. *J. Sci. Food Agric.*, 64, 239-248.
- Bai S.C., Gatlin D.M., 1993. *Aquaculture* 113: 129-135.
- Baker R.T.M., 2001. In "Farmed Fish Quality" ed. S.C. Kestin and P.D. Warriss, pp180-191, Blackwells Science, Oxford, UK.
- Bell G.J., McGhee F., Campbell P, Sargent J.R., 2003. *Aquaculture*, 218, 515-528.
- Bendiksen E.A., Jobling M., 2003. *Fish Physiol. Biochem.*, 29, 133-140.
- Broadhurst C., Cunnane S., Crawford M., 1998. *Br. J. Nutr.*, 79, 3-21.
- Caballero M.J., Obach A., Rosenlund G., Montero D., Gisvold M., Izquierdo M.S., 2002. *Aquaculture*, 214, 253-271.
- Chaiyapechara S., Casten M.T., Hardy R.W., Dong F.M., 2003. *Aquaculture* 219: 715-738.
- Choubert G., 2001. In "Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans", ed. J. Guillaume, S. Kaushik, P. Bergot and R. Métailler, pp183-196. Springer Praxis, Chichester, UK.
- Connor WE., 2000. *Int J Clin Nutr*, 71, 171S-175S.
- Corraze G., Kaushik S.J., 1999. *O.C.L.*, 6, 111-115.
- Einen O., Skrede G., 1998. *Aquacult. Nutr.* 4: 99-108.
- Frigg M., Prabucki A.L. & Rudhel E.U., 1990. *Aquaculture*, 84, 145-158.
- Gandemer G., 1992. *Les cahiers de l'ENSBANA*, 8, 25-48.
- Girard S., Pacquotte P., 2003. *Cah. Nutr. Diet.* 38, 1, 17-28.
- Gjedrem T., 1997. *Aquaculture International*, 5, 197-206.
- Glencross B.D., Hawkins W.E., Curnow J.G., 2003. *Aquaculture Nutrition*, 9 (6), 409-418.
- Haard N.F., 1992. *Food Res. Int.*, 25, 289-307.
- Hemre G.I., Sandnes K., 1999. *Aquacult. Nutr.*, 5(1), 9-16.
- Henderson R.J., Tocher D.R., 1987. *Prog. Lipid Res.*, 26, 281-347.
- Hites R.A., Foran J.A., Carpenter D.O., Hamilton M.C., Knuth B.A., Schwager S.J., 2004. *Science*, 303, 226-229.
- Ingemansson T., Olsson N.U., Herslöf B.G., Ekstrand B., 1991. *J. Sci. Food Agric.*, 57, 443-447.
- Johansson L, Kiessling A., Kiessling K-H., Berglund L, 2000. *Food Quality and Preferences*, 11, 247-254.
- Karl H., Kuhlmann H., Ruoff U., 2003. *Aquaculture Research*, 34, 1009-1014.
- Katikou P., Hughes S.I., Robb D.H.F., 2001. *Aquaculture*, 202, 89-99.
- Kause A., Ritola O., Paananen T., Mantysaari E., Eskelinen U., 2002. *Aquaculture*, 211, 65-79.
- Kaushik S.J., 2004. *Aquafilia*, 2, 5-9.
- Kaushik S.J., Luquet P., 1980. *Comp. Biochem. Physiol.*, 64B, 175-180.
- Kaushik S., Médale F., Fauconneau B. et Blanc J.M., 1989. *Aquaculture*, 79, 63-74
- Kaushik, S.J., Cravedi, J.P., Lalles, J.P., Sumpter, J., Fauconneau, B. and Laroche, M., 1995. *Aquaculture*, 133, 257-274.
- Lall S., 1995. In "Fish and Fishery Products", ed. Ruiter A., pp 187-213, CAB International, Oxon UK.
- Lall S., Parazo M.P. 1995. In "Fish and Fishery Products", ed. Ruiter A., pp 157-186, CAB International, Oxon UK.
- Lundebye A-K., Berntssen M.H.G., Lie O., Ritchie G., Isosaari P., Kiviranta H., Vartiainen T., 2004. *Aquaculture Nutr.*, 10, 199-207.
- Nassour I., Leger C.L., 1989. *Aquat. Living Resour.*, 2, 153-159.
- Quillet, E., Aubin, J., Le Guillou, S., Médale, F., Fauconneau, B., 2002. *Proc. 7th world congress on genetics applied to livestock production*.
- Rasmussen R.S., 2001. *Aquaculture Research*, 32, 767-786.
- Rasmussen R.S., Ostfeld .H., Ronsholdt B., McLean E., 2000. *Aquacult. Nutr.*, 6, 17-23.
- Régost C., Arzel J., Cardinal M., Laroche M., Kaushik S.J., 2001. *Aquaculture* 193: 325-345.
- Régost C., Arzel, J., Robin, J., Rosenlund G., Kaushik S.J., 2003. *Aquaculture* 217: 465-482.
- Santinha P.J.M., Médale F., Corraze G, Gomes E.F.S., 1999. *Aquaculture Nutrition*, 5, 147-156
- Sargent J., Henderson R.J., Tocher D.R., 1989. In "Fish Nutrition", pp 153-218. ed. Halver J.E., Academic Press, INC.
- Satovic V., Beker D., 2004. *Eur. Food Res. Technol.*, 218, 111-113.
- Sheridan M.A., 1994. *Comp. Biochem. Physiol.*, 107B, 495-508.
- Shimeno S., Kheyyali D. et Shikata T., 1995. *Fisheries Sci.*, 61, 277-281.
- Storebakken T., No H.K., 1992. *Aquaculture*, 100, 209-229.
- Takeuchi T., Watanabe T. et Ogino C., 1978. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 44, 677-681.
- Torstensen B.E., Froyland L., Ormsrud R., Lie O., 2004. *Food Chemistry*, 87, 567-580.
- Ytrestoyl T., Coral-Hinostrroza G., Hatlen B., Robb D.H.F., Bjerkeng B., 2004. *Comp. Biochem. Physiol.*, 138 B, 29-40.
- Zhou S., Ackman R.G., Morrison C., 1996. *Can. J. Aquat. Sci.*, 53, 326-332.

Communications orales

Session 2

|

|

EVALUATION DE LA SPECTROSCOPIE DE FLUORESCENCE FRONTALE POUR DÉTECTER LES POISSONS CONGELÉS/DÉCONGELÉS

KAROUI R.¹, LARDON S.¹, LAGUET A.¹, THOMAS E.², FRENCIA J.P.² et DUFOUR E.¹

¹ UR TPA – ENITA Clermont Ferrand, Site de Marmilhat, 63370 LEMPDES
et ² ADIV Association, 2 rue Chappe, 63039 Clermont Ferrand cedex 2

Introduction

Les opérations de congélation / décongélation ont des répercussions importantes sur de nombreuses qualités technologiques des viandes et poissons parmi lesquelles on peut citer notamment : le pouvoir de rétention d'eau, l'oxydation des lipides, la stabilité de la couleur. Ces paramètres conditionnent la qualité et la conservabilité des produits finis livrés aux consommateurs. D'autre part, il existe un certain nombre de produits ou de systèmes de production tel le Label Rouge dans lesquels l'utilisation de matières premières congelées est interdite. Or, actuellement, il n'existe pas de méthode rapide permettant de détecter si un produit est frais ou a subi une congélation. La méthode de référence utilisée est basée sur un dosage enzymatique et ne peut être réalisée qu'en laboratoire ce qui limite considérablement les possibilités d'application. Dans le domaine des produits de la mer, le fait de pouvoir garantir la mise sur le marché de produits jamais congelés, par la mise en place d'une méthode rapide et efficace serait très utile pour de nombreux industriels. Par ailleurs, en période de pénurie (pêche insuffisante, tempête...), le marché du frais peut se trouver approvisionné avec du poisson décongelé de provenances diverses, et à un cours évidemment inférieur à celui de la période considéré pour du poisson réellement frais. Cette pratique dessert la filière et pénalise le revenu des pêcheurs. Le fait de pouvoir disposer d'une méthode de contrôle fiable, rapide et efficace serait aussi déterminant.

La détection des viandes et poissons congelés a fait l'objet de nombreux travaux, parmi lesquels on peut citer les travaux basés sur une méthode impédancemétrique. Ces travaux ont montré que la conductivité électrique de la viande augmente de façon significative après avoir subi un processus de congélation / décongélation. Plus récemment, la possibilité de détecter si une viande a été congelée a été étudiée par spectroscopie dans le proche infrarouge. Il a été montré que la réponse spectrale dans la zone 1100-2498 nm couplée à une analyse factorielle discriminante permettait de distinguer les viandes congelées / décongelées des viandes n'ayant subi aucune congélation. Dans le même domaine, il apparaît intéressant de tester le potentiel de la spectroscopie de fluorescence frontale couplée à des techniques d'analyses factorielles pour détecter les viandes et les poissons ayant subi une congélation.

Matériel et méthodes

- *Protocole*

Il faisait varier essentiellement deux facteurs :

- la vitesse de congélation (lente et rapide),
- la vitesse de décongélation (0/+3°C et micro-ondes).

Le plan d'expérience comprenait 12 modalités différentes. Chaque expérience a été réalisée sur 3 merlans différents. Chaque merlan (*Merlangius merlangus*) était divisé en deux filets :

- un filet réfrigéré sous glace fondante et entreposé en chambre froide à 0/+3°C,
- l'autre filet congelé selon les conditions de l'essai.

24 échantillons ont donc été testés (12 congelés et 12 réfrigérés).

- *Fluorophores : tryptophane des protéines et NADH*

Les tryptophanes sont des acides aminés fluorescents des protéines. Ils absorbent la lumière ultraviolette de longueur d'onde voisine de 280 nm. Les caractéristiques d'excitation et d'émission de tryptophanes dépendent de leurs environnements. Généralement, les longueurs d'onde d'excitation sont comprises entre 280 et 290 nm, alors que le maximum de l'émission est observé entre 320 et 350 nm. Le NADH, coenzyme présent dans de nombreuses enzymes, est une molécule fluorescente à l'état réduit (mais pas à l'état oxydé) qui présente une longueur d'onde d'excitation de 316 nm et émet des photons dont les longueurs d'onde sont comprises entre 380 et 550 nm.

- *Conditions d'acquisition des spectres*

Pour chaque échantillon, trois éprouvettes (L=2cm, l=1cm et e=0,5cm) ont été découpées. L'éprouvette est placée entre deux lames de quartz et mis en place dans le compartiment échantillon (porte échantillon) du spectrofluorimètre Fluoromax (*Spex-Jobin Yvon ; Longjumeau*). Pour chaque éprouvette de poisson, on a acquis 1 spectre de fluorescence du tryptophane, soit 3 spectres par filet pour le poisson. Les spectres d'émission des tryptophanes des protéines ont été enregistrés entre 305 et 400 nm (pas de 0,5 nm) avec une longueur d'onde d'excitation fixée à 290nm. Pour ce qui concerne le NADH, les spectres d'émission de fluorescence ont été acquis entre 380 et 550 nm, après excitation à 316 nm. Afin de s'affranchir des différences d'intensité de fluorescence des spectres pouvant résulter de modifications optique du milieu, tous les spectres

d'émission des tryptophanes ont été normalisés. La normalisation a été faite en réduisant l'espace sur chaque spectre à une valeur de 1.

- Analyse multidimensionnelle des données spectrales

Les méthodes d'analyse multidimensionnelle sont des méthodes statistiques d'exploitation des données. Elles ont été développées pour faciliter l'interprétation et l'utilisation des grands tableaux de données qui contiennent un grand nombre de variables mesurées pour un grand nombre d'individus. Ces méthodes comme l'ACP (Analyse en composantes principales) peuvent être descriptives, mettant en évidence les relations existant entre les variables et les échantillons. D'autres comme l'analyse discriminante (AFD ou analyse factorielle discriminante) ou la régression sont prédictives et permettent d'estimer une ou plusieurs caractéristiques d'un échantillon à partir d'autres mesures effectuées sur le même échantillon.

Résultats et discussion

- Spectres de fluorescence des tryptophanes

Les spectres normés d'émission de fluorescence des tryptophanes enregistrés directement sur des filets de poissons en l'état frais et décongelés sont caractérisés par un maximum localisé au voisinage de 336 nm qui est caractéristique des protéines en général. On remarque une légère différence des spectres d'un filet à l'autre mais de même ordre de grandeur que celle observée sur des spectres de fluorescence des tryptophanes des protéine acquis sur des fromages ou sur de la viande. La carte des similitudes résultant de l'ACP réalisée sur les spectres de poissons étudiés en frais et après congélation/décongélation ne met pas en évidence de ségrégation nette des spectres des filets de poissons frais de ceux qui ont subi un traitement.

- Spectres de fluorescence du NADH

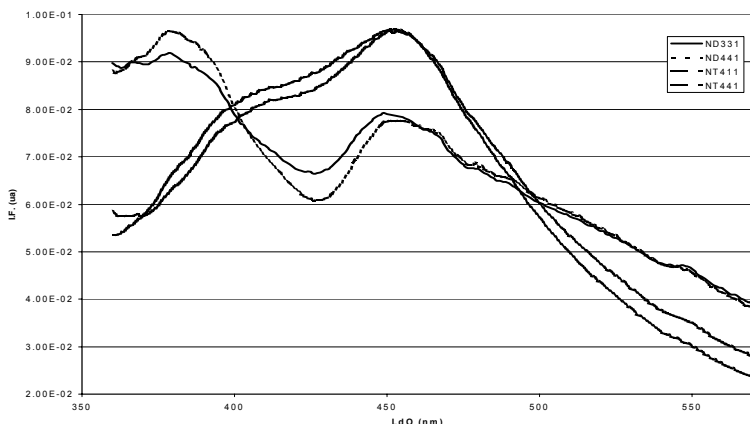
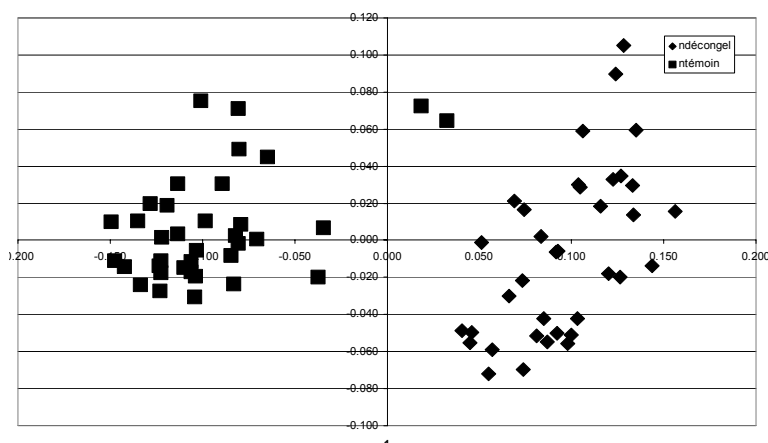


Figure 1 : Spectres normés d'émission de fluorescence des NADH enregistrés sur des filets de poisson frais (NT411 et NT441) ou congelés/décongelés (ND331 et ND441)

Les spectres normés d'émission de fluorescence des NADH ont été enregistrés directement sur des filets de poissons en l'état frais et après congélation /décongélation. Les spectres des produits congelés et des témoins présentent de grandes différences. Les spectres des produits congelés/décongelés sont caractérisés par un maximum localisé au voisinage de 450 nm et un épaulement vers 400 nm. Les spectres des produits témoins présentent un maximum à 380 nm et un épaulement à 450 nm.

Des études sur le fromage ont aussi mis en évidence une évolution des spectres du NADH au cours de la conservation.



La carte 1-2 des similitudes résultant de l'ACP réalisée sur les spectres de poissons étudiés en frais et après congélation /décongélation met en évidence selon la composante principale 1 une ségrégation nette des spectres des filets de poissons frais de ceux qui ont subi un traitement. Les composantes principales 1 et 2 expliquent 97% de la variance des données.

Figure 2 : Carte des similitudes 1-2 de l'ACP réalisée sur les spectres de NADH enregistrés sur les produits frais (■) et congelés/décongelés (◆)

Conclusion

La spectroscopie de fluorescence frontale apparaît comme une bonne méthode (rapide, non destructive, ...) pour discriminer le poisson frais du poisson qui a subi un cycle de congélation/décongélation : les spectres de fluorescence du NADH des filets frais sont très différents de ceux des produits congelés.

Travail réalisé dans le cadre du programme ACTIA RA-01-02. Les échantillons ont été fournis par le CEVPM (Boulogne/Mer).

TAUX DE SEL DU SAUMON FUME ET QUALITE GUSTATIVE

FOUCAT L.¹, DONNAT J.P.¹, JOFFRAUD J.J.², CARDINAL M.², RENOU J.P.¹
¹STIM/SRV INRA Theix 63122 ST Genes Champanelle

²IFREMER. Laboratoire de Génie Alimentaire rue de l'île d'Yeu BP 21105 44311 Nantes

Le salage et le fumage du poisson est une activité de premier ordre dans l'industrie de transformation des produits de la mer. Plus de 40% du saumon d'élevage produit en Europe est destiné à la transformation en saumon fumé. En France, la tradition de salage-fumage du saumon est particulièrement forte. Notre pays est l'un des premiers producteurs mondiaux de saumon fumé. La France est également un gros consommateur de saumon fumé, elle a vu sa consommation multipliée par six ces dernières années avec une consommation actuelle équivalente à la production.

Par contre, les produits salés souffrent d'une mauvaise image dans le domaine de la santé par les risques cardio-vasculaires. Aussi, le consommateur demande des produits de moins en moins salés. Néanmoins, l'ajout de sel garantit au produit une qualité micro biologique.

Dans ces conditions, pour assurer le développement des filières utilisant le sel, il convient d'étudier le rôle que jouent les différents ions dans la perception du goût salé, de diminuer le taux de sel ajouté tout en conservant le même pouvoir d'inhibition du développement bactérien.

Matériel et Méthodes

Nous avons donc utilisé 2 lots de saumons *Salmo Salar* de poids 3-4 kg. Pour chaque lot, les poissons provenaient de la même cage et la date de pêche était la même pour tous les animaux du lot. Le même sel de mine de granulométrie 600 μ (Salins du Midi) a été utilisé pour tous les procédés de salage.

Les produits ont été fabriqués par les sociétés ARMORIC, LABEYRIE et IFREMER avec des taux de sel ciblés variant entre 2 et 3,5%. Trois procédés de salage : sel sec, injection et mixte (sel sec/injection) ont été utilisés. Pour chaque procédé, la répétition a été réalisée sur 5 saumons.

Les spectres RMN ont été enregistrés sur un spectromètre Avance 400 Bruker. Les acquisitions ont été réalisées avec une sonde de 10 mm multi-accord ¹H/²³Na/³⁵Cl spécialement conçu pour ce travail. Toutes les mesures ont été effectuées à 4°C. Différentes séquences d'impulsions utilisées en fonction du noyau observé ont été décrites (Foucat et al., 2003)

Nous avons utilisé la méthode AFNOR. Après extractions des chlorures à l'eau chaude, les protéines sont précipitées. Après filtration, les chlorures dissous sont titrés par une solution de nitrate d'argent (NF-V-04-405 août 1972 Homologuée par arrêté du 26/07/72 JO du 10/08/72).

Les tests d'analyse sensorielle ont été réalisés par le jury interne de l'IFREMER de Nantes. La salle de dégustation répond aux spécifications de la norme AFNOR V-09-105. Toutes les évaluations ont lieu le matin entre 10h30 et 12h30.

Les tests sont automatisés grâce au logiciel Fizz (Biosystèmes, Couternon, France). Les données de chaque test de profil sont traitées par une analyse de variance à deux facteurs.

Résultats et Discussion

Par mesure RMN nous pouvons déterminer les quantités d'ions Na⁺ et Cl⁻ liés et les quantités totales de chacun de ces ions. Dans un premier temps, nous avons pu vérifier que les quantités de sel mesurées par RMN sont en accord avec celle mesurée par la méthode AFNOR. Les mesures RMN sont hautement corrélées à celles d'AFNOR ($R^2 = 0,75$; $F = 126$; $n = 44$). La pente de $1,07 \pm 0,02$ est très voisine de 1 et confirme que tous les ions sont observés par RMN. Les mesures n'ont pas été réalisées sur les mêmes sites de prélèvements, aussi la dispersion des résultats peut facilement s'expliquer par l'inhomogénéité de la teneur en sel dans le filet (Foucat et al., 2004).

Pour chaque procédé et pour chaque teneur en sel, nous avons pu déterminer quantitativement les quantités d'ions libres et d'ions liés aussi bien pour le Na⁺ que le Cl⁻. Les teneurs en Cl⁻ diffèrent de celle de Na⁺ liés, les quantités d'ions Na⁺ sont toujours plus élevées que celle du Cl⁻ à l'exception d'un seul échantillon.

Il apparaît que les quantités de Na⁺ et de Cl⁻ liés sont indépendantes du procédé de salage et restent constantes quelle que soit la teneur en sel dans notre gamme en sel qui est très faible.

Par mesure RMN, nous notons que la quantité totale d'ions Na⁺ est toujours plus importante que celles d'ions Cl⁻. Ceci peut s'expliquer soit par une différence de concentration endogène de chacun des ions, soit par l'encombrement ionique du Cl⁻ qui est beaucoup plus important que celui du Na⁺ soit par la force ionique du milieu.

Perception de la saveur salée

S'il existe une corrélation entre ($R^2 = 0,70$) entre la perception du goût salé et la teneur en sel, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre la perception du goût salé et les concentrations en ions liés. La perception du goût salé ne serait donc pas imputable aux ions liés dans cette gamme de teneur en sel.

Un nouveau modèle d'explication sur la perception de la saveur salée a été construit en tenant compte de la teneur en sel et de la teneur en phénols (Figure 1). Ce modèle permet d'améliorer l'explication de la perception de la saveur salée ($R^2 = 0,84$) et confirme effectivement que pour des pourcentages de NaCl compris entre 2 et 4,5%, celle-ci augmente avec la teneur en phénols. Il est probable qu'il existe une interaction entre la teneur en phénols et la teneur en sel : les phénols ou plus généralement les composés de la fumée semblent amplifier la perception de la saveur salée. Une très bonne corrélation a été mise en évidence entre teneur en phénols et odeur/saveur de fumée. La présence de sel semble accentuer la sensation de fumée, tout comme la présence de fumée faisait ressortir la saveur salée. Cependant la texture du produit doit jouer également un rôle non négligeable dans cette perception.

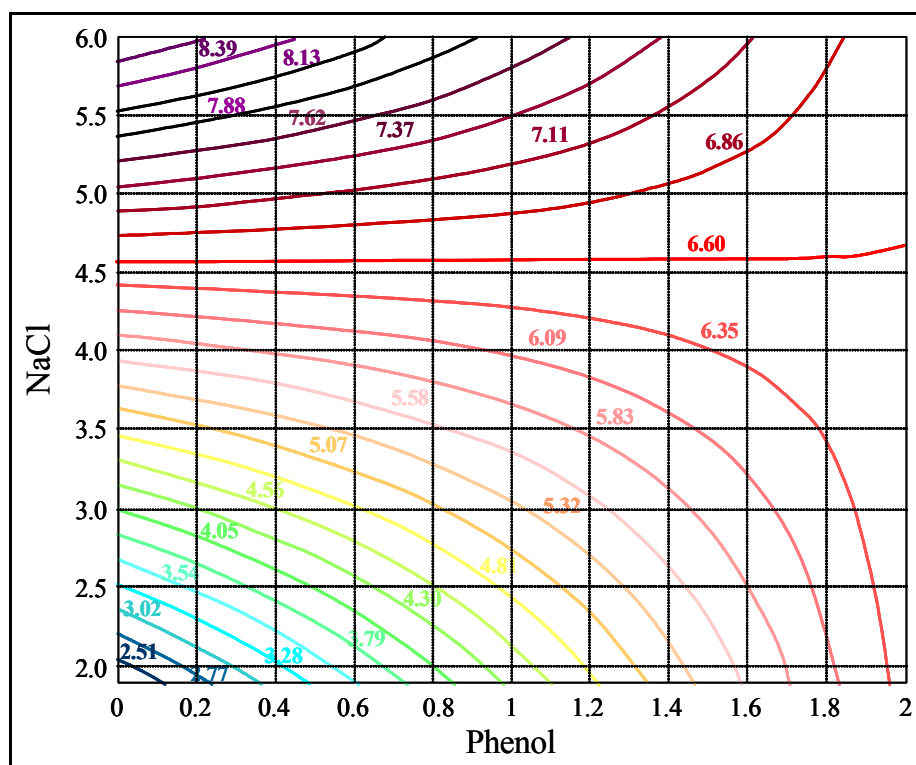


Figure 1 : courbes des isoréponses de la saveur salée.

Conclusion

Les résultats obtenus par spectroscopie RMN du ^{23}Na et ^{35}Cl sont validés par les mesures AFNOR. De plus, nous avons quantifié les ions liés et les ions libres pour chacun ces ions dans la chair de saumon. Les résultats de l'analyse sensorielle ont montré une corrélation entre teneur en sel et perception du goût salé. Cependant, nous n'avons pas mis en évidence une corrélation entre la perception du goût salé et la quantité d'ions liés dans cette gamme restreinte de concentration en sel. Par contre, l'analyse sensorielle a permis de montrer l'effet exhausteur du fumage dans la perception du goût salé dans cette gamme de produit. Ces mesures RMN peuvent être appliquées à d'autres produits agroalimentaires présentant une gamme de concentration en sel beaucoup plus étendue pour pouvoir vérifier si la concentration en ions Na^+ et/ou Cl^- liés influent sur la perception sensorielle de la saveur salée.

Références bibliographiques

Foucat L., Donnat J.P., Renou J.P., 2003. Magnetic Resonance in Food Science latest developments, ed. by P.S. Belton, A.M. Gil, G.A. Webb, and D. Rutledge, Royal Society of Chemistry, Cambridge.
 Foucat L., Ofstad R., Renou J.P., 2004. How is the fish meat affected by technological processes? In Handbook of Modern Magnetic Resonance, Kluwer Academic Publishers, New York, U.S.A. (sous presse).

Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien financier de L'OFIMER dans le cadre de l'appel à projets 2001 Soutien à l'innovation.

EFFETS DE LA NATURE DES HUILES SUR LA FRAICHEUR ET LES PARAMETRES DE QUALITE DE LA CHAIR CHEZ LE FLETAN

GUILLERM-REGOST C. ¹, RØRÅ A.M.B. ¹, HAUGEN T. ², NORVEDT R. ³

¹ AKVAFORSK, Institute of Aquaculture Research AS, P.O. Box 5010, N-1432 Ås, Norway.
(Adresse actuelle de C. Guillerm-Regost : INRA, UMR VP, 35590 Saint-Gilles, France)

² Institute of Marine Research, P.O. Box 1870 Nordnes, N-5817 Bergen, Norway.

³ National Institute of Nutrition and Seafood Research, P.O. Box 185, N-5804 Bergen, Norway.

Introduction

Le flétan apparaît comme une espèce aquacole intéressante en particulier au Nord de l'Europe, en raison de son potentiel de croissance, de la qualité de sa chair et de la diminution de la pêche du flétan sauvage (Shields et al., 1999). Cependant, seuls de récents travaux ont porté sur les paramètres des qualités nutritionnelles et organoleptiques de la chair de flétan (Norvedt et Tuene, 1998; Olsson et al., 2003). De plus, en raison de la diminution de la disponibilité des matières premières à base de poisson (huile et farine) pour l'alimentation animale, les huiles et les protéines d'origine végétale sont de plus en plus utilisées dans l'alimentation des espèces aquacoles sans altérer pour autant les performances de croissance. Les objectifs de cette étude étaient d'une part d'évaluer l'évolution de la fraîcheur chez le flétan et d'autre part d'évaluer les effets d'un remplacement de l'huile de poisson par de l'huile de soja sur la fraîcheur et les qualités nutritionnelles et organoleptiques de la chair.

Matériels et méthodes

Des flétans (*Hippoglossus hippoglossus* L.) ont été nourris durant 6 mois avec soit un aliment à base d'huile de poisson, soit avec un aliment à base d'huile de soja. 84 flétans de taille commercialisable (2438 ± 83 g) ont été abattus et stockés à 4°C dans la glace et les poissons ont été prélevés 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 et 26 jours après l'abattage, 28 jours correspondant à la durée maximale de conservation. Chaque jour de prélèvement, six poissons (3 pour chaque groupe) ont été échantillonnés. La fraîcheur des flétans a été estimée grâce à la mise en place d'une grille de cotation (Tableau 1) à partir des grilles de cotation QIM (Quality Index Method, Eurofish, Pays-Bas) pour la plie, le turbot et la barbu.

Tableau 1. Grille de cotation (« Quality Index Method » scheme) pour le flétan d'élevage.

		Description et note			Score
Apparence	Face pigmentée	Très Brillante, sans décoloration	0	Terne, pâle, quelques décolorations	2
		Brillante	1	Terne, pâle, couleur verte	3
	Face blanche	Brillante, sans décoloration	0	Décoloration jaunâtre sur les nageoires	2
		Mat, marques jaunes près de la caudale	1	Décolorations jaunâtres et violettes	3
Mucus	Clair, non grumeleux	0	Laiteux et légèrement jaunâtre	2	
	Légèrement grumeleux et laiteux	1	Laiteux et jaunâtre	3	
Texture	Ferme, élastique	0	Molle	2	
	Moins ferme	1	Très molle	3	
Yeux	Pupille	Claire et noire, dorée autour de la pupille	0	Mat, opaque et pupille rougeâtre	2
		Plutôt mat, - dorée autour de la pupille	1	Laiteuse, terne et opaque	3
	Forme	Convexe	0	Creusée, enflée, affaissée	2
Convexe and légèrement creusée		1	Plate, affaissée	3	
Branchies	Couleur	Rouge, brillante	0	Décolorée, brun clair	2
		Rouge pâle, légèrement décolorée	1	Brun, gris, vert	3
	Mucus	Pas de mucus	0	Laiteux, jaunâtre, grumeleux	2
Laiteux, clair		1	Laiteux, jaunâtre et foncé	3	
Odeur	Frais, algues	0	Moisi, aigre, acide	2	
	Neutre, métallique, gras	1	Moisi, aigre, rance, pourri	3	
Chair	Couleur	Transparent, lumineux, reflets bleutés	0	Jaune, décolorée, brunâtre	2
		Cireux, laiteux	1		0 à 2
Score QIM					0-29

Les poissons ont été ensuite pesés et deux darnes ont été prélevées pour les mesures individuelles de texture par compression (Texture Analyser TA-XT2), de couleur (Colorimètre CR200 Minolta) et de capacités de rétention d'eau (Gomez-Guillen et al., 2000). Lors des jours 2, 4, 8, 14, 20 et 26, les mesures de dégradation d'ATP, de microbiologie et

d'oxydation des lipides (mesure de TBARS) ont été réalisées. Les analyses sensorielles ont été réalisées lors des jours 6 et 22 et les teneurs en matières sèches, en lipides, en protéines et le profil en acides gras ont été déterminés sur les pools des 3 poissons par groupe.

Résultats et discussion

La fraîcheur du poisson est l'un des critères de qualité les plus importants, la température et la durée de conservation étant les principaux facteurs qui affectent ce paramètre (Whittle, 1997). Aucune différence de fraîcheur ou de qualité n'a été mise en évidence entre les flétans nourris avec l'huile de poisson et ceux nourris avec l'huile de soja. Les scores QIM augmentent fortement à partir du 4^{ème} jour de conservation, indiquant une altération de la fraîcheur du flétan au cours du temps (Figure 1). Après la mort du poisson, l'ATP du muscle est rapidement dégradé en inosine et en hypoxanthine, par conséquent le taux de dégradation de l'ATP est également utilisé comme indicateur de la fraîcheur chez le poisson. Ce taux de dégradation, exprimé par le facteur K, augmente au cours de la durée de conservation chez le flétan. Une forte corrélation est observée entre le facteur K et la durée de stockage ($r = 0.998$), comme il a été montré auparavant chez d'autres espèces. L'activité des microorganismes est le principal facteur limitant la fraîcheur et la qualité sanitaire du poisson. Le nombre de bactéries présentes chez le flétan n'est pas affecté par la nature des huiles incorporées et augmente à partir du 8^{ème} jour de conservation, mais ce nombre n'atteint pas au 26^{ème} jour la limite correspondant au rejet sanitaire du poisson. Les analyses sensorielles ont été réalisées aux 6^{ème} et 22^{ème} jours de conservation et aucun flétan n'a été rejeté par le jury. L'incorporation d'huile de soja dans l'alimentation a peu d'effet sur les propriétés organoleptiques de la chair de flétan : seul le critère « odeur de frais, vert » apparaît plus fort chez les flétans nourris avec l'aliment à base d'huile de poisson. Par contre, l'évolution *post-mortem* affecte fortement les critères sensoriels : l'odeur et le goût de rance de la chair de flétan deviennent plus prononcés alors que l'odeur fraîche diminue indiquant un début d'altération du poisson. La texture de la chair et les propriétés de rétention d'eau ne sont pas influencées par la nature des huiles incorporées dans les aliments. Par contre, la fermeté de la chair diminue au cours du temps (Figure 2) alors que les pertes en eau augmentent, en particulier après les 4 premiers jours de conservation. La couleur de la chair est également modifiée après les 4 premiers jours de conservation, en particulier les valeurs b^* (composante jaune) augmentent fortement, la couleur de la chair devenant de plus en plus jaunâtre, en relation avec l'oxydation des lipides (Ruff et al., 2002). Les qualités nutritionnelles de la chair de flétan sont affectées par l'incorporation d'huile d'origine végétale en particulier au niveau de la composition en acides gras de la chair, qui est le reflet de celle des aliments.

Figure 1. Evolution de la fraîcheur au cours du temps.

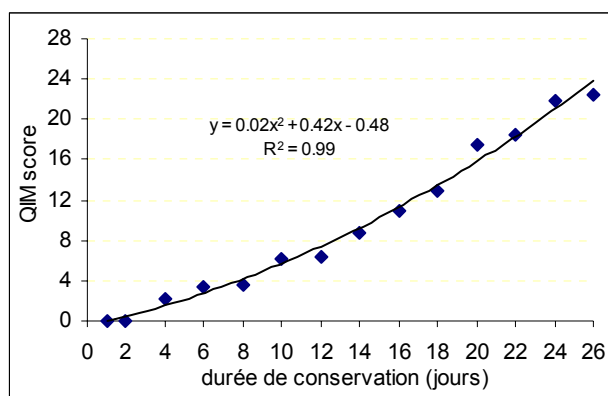
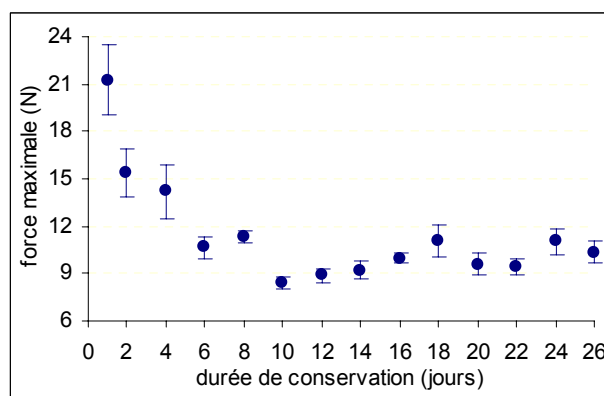


Figure 2. Evolution de la texture au cours du temps.



Conclusion

Cette étude montre que la fraîcheur du flétan est altérée au cours de la conservation du poisson, tout en maintenant la qualité sanitaire. L'odeur, la fermeté et la couleur de la chair sont les principaux facteurs concernés par cette altération. L'incorporation d'huile d'origine végétale modifie essentiellement la qualité nutritionnelle de la chair de flétan, mais n'affecte pas l'évolution de la fraîcheur du poisson et a peu d'effet sur les qualités organoleptiques.

Références bibliographiques

- Gómez-Guillén M.C., Montero P., Hurtado O., Borderías A.J., 2000. *J. Food Sci.*, 65, 53-60.
 Nortvedt R., Tuene S., 1998. *Aquaculture*, 161, 295-313.
 Olsson G.B., Olsen R.L., Carlehög M., Ofstad R., 2003. *Aquaculture*, 217, 191-205.
 Ruff N., FitzGerald R.D., Cross T.F., Kerry J.P., 2002. *Aquaculture Res.*, 33, 1059-1071.
 Shields R.J., Gara B., Gillespie M.J.S., 1999. *Aquaculture* 176, 15-25.
 Whittle K.J., 1997. *In: « Seafood from producer to consumer, integrated approach to quality. » Elsevier*, pp. 549-560.

REPLACEMENT DE L'HUILE DE POISSON PAR DES HUILES VEGETALES DANS L'ALIMENT : INCIDENCE SUR LES MECANISMES DE CONSTITUTION DES DEPOTS LIPIDIQUES CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL.

RICHARD N., LARROQUET L., KAUSHIK S.J. et CORRAZE G.

UMR Nutrition Aquaculture Génomique, INRA, 64310 Saint Pée-sur-Nivelle.

Introduction

Les aliments aquacoles sont formulés principalement à partir de matières premières d'origine marine (farines et huiles). Face à l'essor de l'aquaculture, les ressources halieutiques ne permettront pas de couvrir les besoins aquacoles à long terme. La substitution des matières premières d'origine marine par des matières premières d'origine végétale semble être une alternative à ce problème, ces dernières étant disponibles en plus grande quantité et avec plus de régularité.

L'objectif de ce travail était d'étudier l'incidence du remplacement de l'huile de poisson par un mélange d'huiles végétales sur les mécanismes impliqués dans la constitution des dépôts lipidiques chez la truite arc-en-ciel : activité des enzymes de la lipogenèse, transport des lipides par les lipoprotéines plasmatiques et captage tissulaire des lipides circulants (activité de la lipoprotéine lipase).

Matériels et méthodes

Trois groupes de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) ont reçu depuis leur première alimentation 3 aliments à base de farine de poisson. Ces aliments étaient isolipidiques, isoprotéiques, et ne se différençaient que par la nature des huiles incorporées : 100% huile de poisson (Aliment A), 25% huile de poisson / 75% mélange d'huiles végétales (Aliment B) et 100% mélange d'huiles végétales (Aliment C). Le mélange d'huiles végétales était composé à 55% d'huile de colza, 30% d'huile de palme et 15% d'huile de lin. Les truites ont été nourries manuellement, à satiété visuelle pendant 62 semaines. A la fin de l'expérience, l'activité des principales enzymes de la lipogenèse a été mesurée dans le foie, principal lieu de synthèse des acides gras chez la truite arc-en-ciel. L'activité de la glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD) et celle de l'enzyme malique (EM) ont été déterminées par des méthodes spectrophotométriques (Bautista *et al.*, 1988 ; Ochoa, 1955). L'activité de l'acide gras synthétase (AGS) a été mesurée selon la méthode isotopique de Hsu *et al.* (1969). Après 62 semaines d'alimentation, les différentes classes de lipoprotéines plasmatiques (VLDL, LDL, HDL) ont été séparées par ultracentrifugation séquentielle et leur composition a été déterminée. L'activité de la lipoprotéine lipase a été mesurée dans le foie, le tissu adipeux périviscéral et le muscle blanc selon la technique de Bengtsson-Olivecrona et Olivecrona (1992).

Résultats et discussion

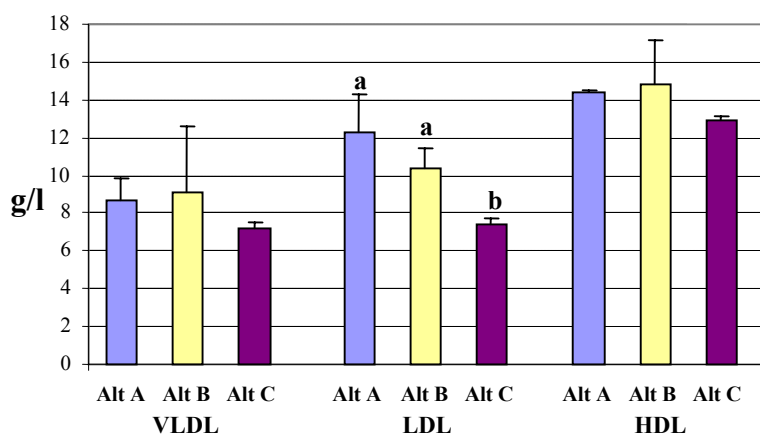
Pour les 3 groupes de truites arc-en-ciel, les performances de croissance n'ont pas été significativement différentes. Les indices viscérosomatiques et hépatosomatiques ainsi que la teneur en lipide du muscle des poissons n'ont pas variés de manière significative entre le lot A (huile de poisson) et les lots B et C nourris avec les aliments à base d'huiles végétales.

L'activité de la glucose-6-phosphate déshydrogénase mesurée dans le foie de truite était 1,5 fois plus élevée que celle de l'enzyme malique, indiquant que la glucose-6-phosphate déshydrogénase est la principale voie de production d'équivalents réducteurs NADPH nécessaires à l'activité de l'acide gras synthétase. Aucun effet des régimes alimentaires n'a été observé sur l'activité de ces enzymes qui était de : 12,8-14,4 UI/g pour la G6PD, 4-6 UI/g pour l'AGS et 8,3-9 UI/g pour l'EM.

La substitution totale de l'huile de poisson par le mélange d'huiles végétales dans l'aliment a entraîné une diminution du taux de cholestérol plasmatique (-38,5%) ainsi que de celui des fractions VLDL, LDL et HDL circulantes. De plus une diminution significative ($P < 0.05$) du taux de LDL circulantes a été observée chez les poissons nourris avec l'aliment C par rapport à ceux ayant reçu les aliments A et B (**Figure 1**). Les teneurs en triglycérides du plasma et des fractions VLDL et HDL n'ont pas variées significativement en fonction des régimes.

Le captage des lipides circulants a été évalué en mesurant l'activité de la lipoprotéine lipase dans différents tissus. L'activité lipoprotéine lipase du tissu adipeux périviscéral était environ 8 fois supérieure à celle du foie (23 à 25 UI/g), et environ 3 fois plus élevée que celle mesurée dans le muscle blanc (58 à 73 UI/g), confirmant le rôle important du tissu adipeux périviscéral comme site de stockage des lipides chez la truite arc-en-ciel. Après 62 semaines d'alimentation, aucune différence significative de l'activité lipoprotéine lipase n'a été observée entre les 3 groupes quel que soit le tissu étudié.

Figure 1 : Teneur en VLDL, LDL et HDL plasmatiques après 62 semaines.



Conclusions

Cette étude montre que le remplacement total de l'huile de poisson par un mélange d'huiles végétales dans l'alimentation des truites arc-en-ciel depuis leur première prise alimentaire jusqu'au stade commercialisable ne modifie pas la lipogenèse hépatique et le captage des lipides circulants par les tissus. Les aliments contenant le mélange d'huiles végétales (aliment B et C) ont entraîné une diminution du taux de cholestérol circulant ainsi que du taux de LDL plasmatiques.

Références bibliographiques

- Bautista J.M., Garrido-Pertierra A., Soler G., 1998. *Biochem. Biophys. Acta*, 967, 354-363.
- Hsu R.Y., Butterworth P.H.W., Porter J.W., 1969. *Methods in Enzymology*, Lowenstein J.M., Academic Press, New York, USA, 14, 33-39.
- Ochoa S., 1955. *Methods in Enzymology*, Colowick S.P. et Kaplan N.O., Academic Press, New York, USA, 1, 739-753.
- Bengtsson-Olivecrona G., Olivecrona T., 1992. *Lipoprotein analysis*, Converse C., Skinner E.R., Oxford University Press, 169-185.

Partie du projet européen : RAFOA, N°: Q5RS-2000-30058

Posters

Session 2

|

|

DISTRIBUTION DU SEL DANS LE SAUMON FUME EN RELATION AVEC LA DISTRIBUTION DU GRAS : ETUDE PAR IMAGERIE RMN DU ^1H ET DU ^{23}Na .

FOUCAT L.¹, OFSTAD R.^{1,2}, DONNAT J.P.¹, RENOUE J.P.¹

¹STIM/ SRV INRA Theix 63122 ST Genès Champanelle France

²MATFORSK, Oslov 1, 1430 Ås, Norway

Introduction

Le salage du poisson favorise sa conservation et lui donne un goût salé apprécié par le consommateur. L'idéal serait d'ajouter la quantité minimale de sel nécessaire pour préserver le produit et lui donner le goût recherché par le consommateur tout en préservant les risques cardiovasculaires imputés à une trop forte consommation de sel. Il n'existe pas de méthode capable de mesurer les concentrations des ions Na^+ et Cl^- sous forme libre et liée *in situ* à l'exception de la Résonance Magnétique Nucléaire (Foucat et al., 2004). L'imagerie RMN du ^1H et du ^{23}Na offre l'unique opportunité de déterminer de façon non-destructrice la distribution des gras et du sel sur un même produit. Le but de ce travail est de rechercher l'incidence de la distribution des gras sur la diffusion du sel dans le saumon fumé.

Matériel et Méthodes

Les saumons de 2 tailles différentes étaient salés à 5 jours *post mortem*, selon le procédé sel sec, avec du sel de mine de granulométrie 600μ avant d'être fumés par IFREMER. Les poissons de petite taille pesaient entre 1 et 2 kg. Ils étaient salés en 1 et 10h pour le filet gauche et droit respectivement tandis que les poissons de plus grande taille pesaient entre 4 et 5 kg, avec un temps de salage de 3 h et 13 h selon le filet.

Les mesures RMN ont été réalisées sur un BIOSPEC Bruker 47/40. Une sonde double accord $^{23}\text{Na}/^1\text{H}$ (53 MHz/ 200 MHz) a été spécialement conçue et réalisée au laboratoire pour cette étude. Les images sélectives des gras ont été acquises à partir d'une séquence d'impulsions qui prend en compte la différence des temps de relaxation longitudinale et du déplacement chimique entre l'eau et le gras (Laurent et al., 2000).

Du fait de la disparition rapide du signal sodium (de l'ordre de la ms), une séquence d'imagerie avec écho de gradient a été utilisée (TE = 3,2 ms, TR = 100 ms, 256 scans). Les images RMN étaient enregistrées avec une épaisseur de tranche de 2 mm.

Résultats et Discussion

Des exemples d'images RMN avec suppression des gras (Figure 1a) et de l'eau (Figure 1b), et de la répartition du sodium (Figure 1c) sont donnés dans la Figure 1. L'organisation structurale des filets est clairement visible avec les myofibrilles séparées par des espaces inter fibres.

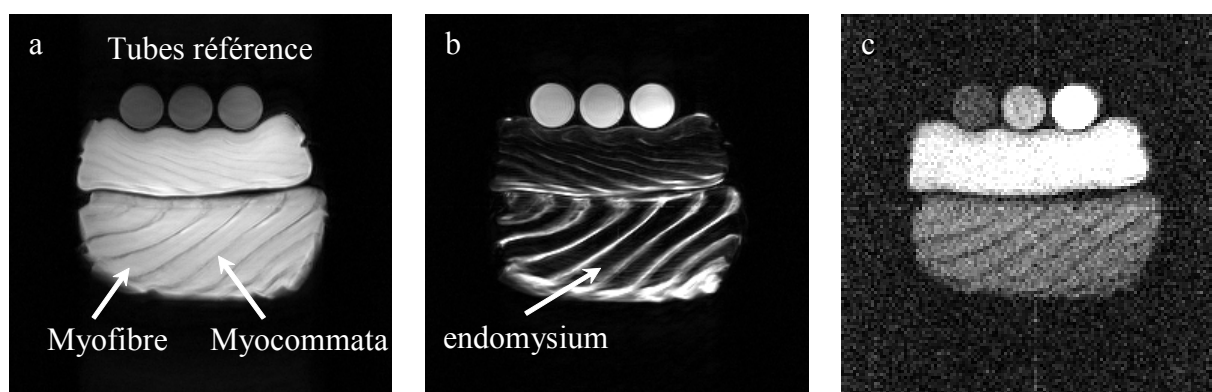


Figure 1 : Image RMN de saumons fumés (Poids 4-5kg) : a) image RMN ^1H avec suppression du gras, b) image RMN ^1H avec suppression de l'eau, c) imagerie RMN ^{23}Na . Le filet en haut de l'image correspond à la partie latérale (coté peau vers le bas) de la partie postérieure salée 13h. Le filet en bas de l'image correspond à la partie latérale (coté peau vers le bas) de la partie antérieure salée 3h. Les tubes de référence placés au dessus du filet contiennent des solutions de NaCl 1, 2,5 et 5% de la gauche vers la droite.

L'hyper signal correspond à la distribution du gras sur la Figure 1b. Les gras font partie intégrante du tissu conjonctif dans les myocommata. Ils sont également visibles dans les membranes et/ou dans les feuillettes de l'endomysium qui entoure la cellule musculaire dans la partie antérieure du filet. Cette partie est la plus grasse du filet. La partie côté peau est également

plus riche en gras que la partie côté viscère. Comme attendu la partie la plus salée correspond au filet qui a été exposé plus longtemps au sel. Les images RMN ^{23}Na montrent très clairement une répartition inhomogène des ions Na^+ . Dans la partie antérieure qui possède la plus faible concentration en sodium les myocommata sont facilement distingués et montrent très clairement que le tissu conjonctif est moins salé que les myofibres. De plus, la partie côté peau est toujours moins salée que la partie côté viscère du filet.

Les poissons de petite taille sont plus salés que ceux de plus grande taille. La différence de teneur en sel entre la partie antérieure et la partie postérieure s'explique par une moins bonne pénétration du sel dans les parties épaisses du filet. Grâce à l'acquisition simultanée en imagerie ^1H et ^{23}Na , il est possible de comparer la distribution en gras avec celle en sodium (Foucat et al., 2004) Le taux de gras a un effet sur la concentration en sel. L'étude statistique montre que le contenu en gras est corrélé négativement avec le taux de sel. Cependant la quantité de gras dépend de la taille du poisson et diminue de la tête vers la queue. L'analyse statistique montre que le contenu en gras est presque indépendant de la taille du poisson. Nous pouvons conclure que la concentration en sel dans le filet ne dépend pas seulement de la taille du poisson et de l'épaisseur du filet mais aussi de l'état d'engraissement du poisson.

Conclusion

Notre approche en imagerie RMN du ^1H mais aussi du ^{23}Na montre les énormes potentialités de cet outil pour la caractérisation des procédés technologiques. Nous travaillons sur la modélisation de la teneur en sel à partir des données morphologique (taille) et chimique (taux de gras) du produit.

Références bibliographiques

- Foucat L., Donnat J.P., Joffraud J.J., Cardinal M., Renou J.P., 2004. 10^{ème} journée : 'Sciences du Muscle et technologies des viandes' Rennes 25-26 octobre 2004.
- Laurent W., Bonny J.M., Renou J.P., 2000. J. Magn. Reson. Imaging 12, 488-496.
- Foucat L., Ofstad R., Renou, J.P., 2004. How is the fish meat affected by technological processes? In Handbook of Modern Magnetic Resonance, Kluwer Academic Publishers, New York, U.S.A. (sous presse).

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'un soutien financier dans le cadre de l'action incitative IFREMER/INRA 2003.

MUSCLES DE TRUITE (*ONCHORHYNCHUS MYKISS*) FUMÉS CONDITIONNÉS SOUS ATMOSPHÈRE MODIFIÉE : QUALITÉ ET ASPECT MICROBIOLOGIQUE

QUIÑONES A.¹, CHOUBERT G.², GOMEZ R.¹

¹Laboratoire de Technologie Alimentaire, Faculté de Pharmacie,
Université du Pays Basque, Paseo de la Universidad, 7, 01006 - Vitoria, Espagne.

²Laboratoire de Nutrition des Poissons, UMR 1067 INRA,
64310 - Saint Pée-sur-Nivelle, France.

Introduction

Le poisson fumé est un produit périssable possédant une durée de vie courte. Le conditionnement présente de nombreux avantages parmi lesquels la préservation et l'allongement de la durée de vie (Oka, 1989). L'objectif de ce travail était d'étudier les modifications des paramètres de qualité de muscles (filets) de truite fumés conditionnés sous atmosphère modifiée.

Matériel et méthodes

Quarante cinq truites arc-en-ciel (*Onchorhynchus mykiss*), d'un poids moyen de 200 g ont reçu un aliment contenant 80 mg de canthaxanthine/kg d'aliment à la pisciculture expérimentale INRA de Donzacq (Landes, France). Les poissons ont été nourris, manuellement, deux fois par jour *ad libitum* pendant 98 jours. Les muscles (filets) de poisson ont été fumés à froid ($25 \pm 1^\circ \text{C}$; 65% HR) au centre technologique AZTI-SIO (Sukarrieta, Biscaye, Espagne), puis emballés individuellement sous atmosphère modifiée (CO_2/N_2 : 80/20%) dans des sacs plastique, et stockés à $+2^\circ\text{C}$. La perméabilité des sacs (BB305, Cryovac Sealed Air Corp., Barcelone, Espagne) était la suivante : O_2 : $35\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}$ à 23°C , 50% HR ; CO_2 : $80\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}$ à 23°C , 50% HR ; H_2O : $10\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}$ à 38°C , 90% HR.

Les échantillons ont été prélevés à $t = 0, 8, 14, 28, 42, 56, 72$ et 98 jours. La concentration en canthaxanthine de chaque muscle a été mesurée spectrophotométriquement après extraction. La couleur a été déterminée à l'aide d'un spectrophotocolorimètre (Mod. 805-i, Minolta Ltd, Osaka, Japon) dans l'espace L^*, a^*, b^* , puis les données ont été transformées dans l'espace $L^*, C^*, H^{(\circ)}_{ab}$ (Wyszecki et Stiles, 1967). Le pH, l'exsudat et le TBARS (2-thiobarbituric acid reactive substances) ont aussi été mesurés. L'analyse bactériologique a porté sur les bactéries mésophiles, psychrophiles, et sulfite réductrices.

Résultats et discussion

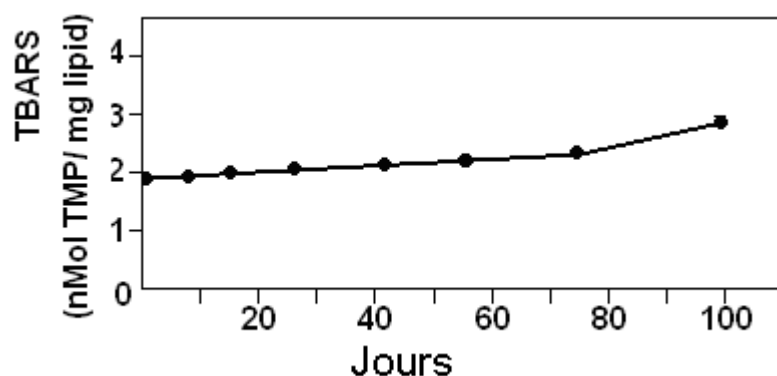
- pH : Une diminution du pH a été notée dans les muscles des poissons : depuis la valeur initiale du muscle frais ($\text{pH} = 6.56$) à la valeur observée après fumage au temps $t = 0$ j ($\text{pH} = 5.96$), puis à $t = 56$ j ($\text{pH} = 5.87$), pour atteindre la valeur $\text{pH} = 5.5$ à $t = 98$ j.

- Exsudat : Une faible élévation de l'exsudat a été observée, de 1,61% à $t = 8$ j à 1,67% à $t = 98$ jours.

- Couleur : Une variation de la luminosité L^* et de la teinte $H^{(\circ)}_{ab}$ a été notée. Après fumage, les valeurs de luminosité ont diminué de $46,33 \pm 2,34$ ($t = 0$ j) à $46,11 \pm 2,52$ ($t = 98$ j) alors que dans le même temps les valeurs de $H^{(\circ)}_{ab}$ ont augmenté de $45,85 \pm 3,80$ ($t = 0$) à $46,38 \pm 2,27$ ($t = 98$ j).

- Teneur en canthaxanthine : Il n'a pas été observé de variation de la teneur en canthaxanthine jusqu'au prélèvement $t = 72$ j et $t = 98$ j (respectivement 10 et 16% de diminution en canthaxanthine).

- TBARS : Peu de variation dans les valeurs de TBARS a été notée jusqu'à $t = 72$ jours. Au delà, les valeurs de TBARS ont atteint $3,32 \pm 0,06$ nMol TMP/mg lipide.



- Croissance Bactérienne : Peu de variation dans les comptages de bactéries mésophiles, psychophiles, et sulfite réductrices, même après 98 jours de maintien à + 2°C.

Prélèvements (J)	Mésophiles*	Psychophiles*	Sulfite réductrices*
T = 0	2,01 ± 0,15	1,96 ± 0,17	2,01 ± 0,15
T = 8	2,21 ± 0,19	1,98 ± 0,45	2,21 ± 0,19
T = 14	2,18 ± 0,03	2,06 ± 1,63	2,18 ± 0,03
T = 28	2,31 ± 0,94	2,12 ± 2,99	2,31 ± 0,94
T = 42	2,46 ± 1,81	2,13 ± 1,25	2,46 ± 1,81
T = 56	2,41 ± 0,62	2,07 ± 0,02	2,41 ± 0,62
T = 72	2,38 ± 1,27	2,17 ± 1,14	2,38 ± 1,27
T = 98	3,79 ± 0,42	2,26 ± 0,19	3,79 ± 0,42

* log u.f.c./g muscle

Ainsi, l'utilisation d'atmosphère modifiée pour le conditionnement de muscles (filets) de truite fumés a permis de maintenir, pendant une durée appréciable, leur qualité organoleptique. L'extension de la durée de vie est due à l'effet inhibiteur du mélange gazeux utilisé sur la croissance bactérienne.

Remerciements

Les auteurs remercient le personnel de la pisciculture expérimentale INRA de Donzacq (Landes, France) pour le soin apportés aux animaux, DSM (ex Produits Roche France) (Paris la Défense, France) pour la fourniture de canthaxanthine, le personnel du Centre Technologique AZTI-SIO (Sukarrieta, Biscaye, Espagne) pour le fumage des muscles de poissons et Cryovac Sealed Air Corp. (Barcelone, Espagne) pour la fourniture des sacs plastique.

Références

Oka H., 1989. Packaging Tech. Sci., 2, 201-213.
 Wyszecski G., Stiles W.S., 1967. Color Science. John Wiley & sons, inc, New York, USA, 628 pp.

DETECTION DES CHAIRS DE POISSON CONGELEES DECONGELEES PAR SPECTROSCOPIE MOYEN INFRAROUGE

GUILLARD A.S.¹, GRONDIN C.¹, LEFUR B.², KAROUI R.³

¹CTSCCV, 7 avenue du Général de Gaulle, 94704 Maisons-Alfort Cedex,

²CEVPM, 15/17 rue de Magenta, 62200 BOULOGNE-SUR-MER

³UR TPA – ENITA Clermont Ferrand, Site de Marmilhat, 63370 LEMPDES

Introduction

Les opérations de congélation / décongélation ont des répercussions importantes sur la qualité et la conservabilité des viandes et des filets de poisson. Par ailleurs, dans la filière des produits de la pêche, l'approvisionnement régulier en poisson sauvage frais n'est pas garanti et il peut arriver que du poisson décongelé, soit commercialisé pour du poisson frais. Il est donc important de pouvoir détecter *a posteriori* si un poisson a subi ou non une congélation. Dans le cadre d'un projet cofinancé par l'ACTIA, plusieurs méthodes rapides ont été testées sur les deux matrices, viande et poisson, en comparaison à une méthode de référence de laboratoire, basée sur des tests d'activité enzymatique. Le CTSCCV a travaillé sur la mise au point d'une méthode rapide utilisant la spectroscopie infrarouge. Le mode d'acquisition choisi, à la suite des pré essais, est l'acquisition en moyen infra rouge (4000 – 400 cm^{-1}) par réflexion totale atténuée (ATR), sur un jus dilué. Les analyses ont été réalisées sur des filets de merlan ayant subi différentes conditions de congélation / décongélation.

Matériels et Méthodes

Des filets de merlan frais ont été congelés pendant 8 jours à -20°C , puis décongelés. Deux vitesses de congélation et de décongélation ont été testées (rapide ou lent). Pour chaque condition d'essai (tableau 1), 3 merlans ont été analysés. L'un des filets a été analysé frais, et l'autre après congélation en cellule de refroidissement (ACFRI) pour la congélation rapide ou par entreposage direct en chambre froide à -20°C (lent) ; puis décongélation au micro ondes (rapide) ou par entreposage en chambre froide à $0/3^{\circ}\text{C}$ (lent).

Les acquisitions spectrales ont été effectuées par réflexion totale atténuée en moyen infrarouge avec un spectrophotomètre BOMEM MB155 muni d'un accessoire ATR. Chaque spectre correspond à 60 scans acquis sur du jus exsudé, dilué 1:1 dans de l'eau ultra pure. Un spectre de l'eau est acquis tous les 10 échantillons. Le spectre de l'eau moyenné est ensuite soustrait à tous les spectres. Une correction des variations de la ligne de base est aussi effectuée, ainsi qu'une normalisation.

Les données ont été traitées par Analyse en Composantes Principales. Trois zones spectrales ont été particulièrement étudiées : la zone spectrale $3000-2800\text{ cm}^{-1}$, caractéristique des lipides, la bande amide I et II caractéristique des protéines ($1700-1500\text{ cm}^{-1}$) et la zone $1500-900\text{ cm}^{-1}$.

Tableau 1 : Description des facteurs étudiés

Essai	Vitesse congélation	Vitesse décongélation	Délai avant congélation (heures)	durée stockage à l'état congelé	Température de congélation
1	rapide	rapide	52h	8 jours	-20°C
2	rapide	lente	52h	8 jours	-20°C
3	lente	lente	52h	8 jours	-20°C
4	lente	rapide	52h	8 jours	-20°C

Résultats

Les figures 1 et 2 présentent la moyenne de l'ensemble des spectres acquis dans les différentes conditions de l'essai. Les spectres obtenus pour les échantillons analysés montrent que les profils sont différents selon que le produit est frais ou congelé / décongelé. De plus, il semble que les conditions de décongélation (rapide ou lent) modifient l'allure des spectres. Les régions spectrales présentant les différences les plus importantes en fonction du traitement subi sont situées entre 900 et 1500 cm^{-1} (encadrés des figures 1 et 2). En effet, la bande située dans la zone 2300 correspond probablement au gaz carbonique (CO_2) présent dans l'air ambiant au moment de l'acquisition des spectres. Certaines régions de ces spectres moyennés présentent des absorbances négatives, consécutives au retraitement des spectres (soustraction d'un spectre

moyen de l'eau correction des variations de la ligne de base). Tous les spectres ont subi le même traitement et l'analyse des données a été réalisée par comparaison de l'ensemble des acquisitions.

Pour étudier la relation entre les différentes zones spectrales et l'effet du traitement de congélation / décongélation, une analyse des données par des méthodes statistiques multidimensionnelles a été mise en œuvre. L'Analyse en Composantes Principales appliquée aux zones spectrales 1500-900 cm^{-1} et 1700-1500 cm^{-1} permet de discriminer significativement les échantillons frais de ceux qui ont été congelés décongelés.

Ainsi, la carte factorielle 1-2 obtenue pour la zone amide I et II (figure 3) montre une discrimination intéressante entre les poissons frais et les poissons congelés / décongelés, principalement selon la première composante principale, qui explique 96,4% de la variance totale. Les échantillons congelés / décongelés se situent de part et d'autre des échantillons témoins. Une nouvelle analyse est en cours pour analyser l'origine de cette répartition.

La carte factorielle 1-2 obtenue pour la zone amide 1500-900 cm^{-1} (figure 4) discrimine aussi les poissons frais des poissons congelés / décongelés, principalement selon la première composante principale (95,3% de la variance totale). Aucune discrimination n'a été observée dans la zone 3000-2800 cm^{-1} , spécifique des lipides.

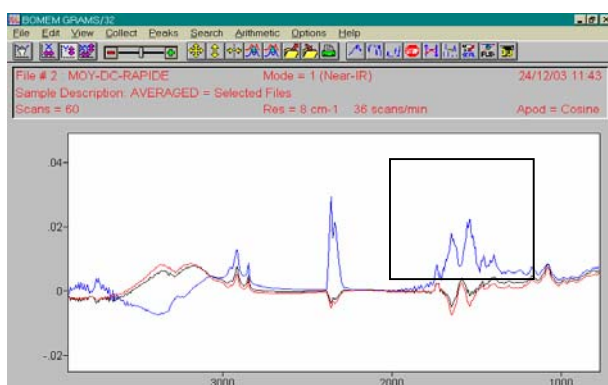


Figure 1 : Allure des spectres en fonction de la vitesse de congélation (Bleu : témoins frais, Noir : congélation lente, Rouge : congélation rapide).

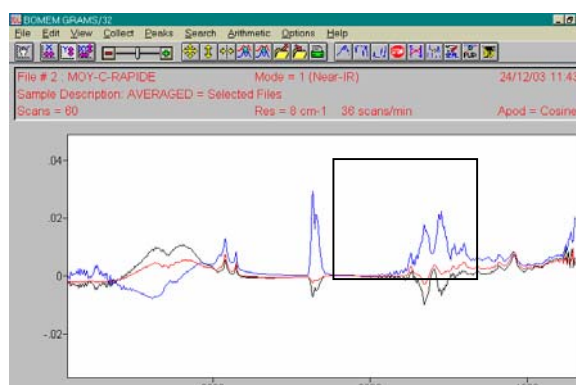


Figure 2 : Allure des spectres en fonction de la vitesse de décongélation (Bleu : témoins frais, Noir : décongélation lente, Rouge : décongélation rapide).

Conclusion

Malgré le faible effectif étudié, une corrélation entre les spectres moyen infrarouge obtenus sur des jus extraits des filets de merlans et leur état physique (frais ou congelé / décongelé) a été mise en évidence. Ces résultats montrent qu'il est possible de mettre en place une méthode rapide et non destructive de détection des opérations de congélation / décongélation sur des filets de merlan. L'analyse multifactorielle des données montre, en particulier, que la zone spectrale caractéristique des protéines est discriminante. Ces résultats confirment les analyses obtenues par les méthodes enzymatiques de laboratoire, qui s'appuient sur les différences d'activité enzymatique existant entre les jus issus des deux types d'échantillons.

Remerciements

Ce projet a bénéficié d'un cofinancement ACTIA RA01-02, piloté par l'ADIV. Les auteurs remercient l'équipe du CEVPM pour la préparation des échantillons.

EFFET D'UNE SUPPLEMENTATION DE L'ALIMENT AVEC DE L'HUILE DE POISSON OXYDEE ET DE LA VITAMINE E SUR LA PEROXYDATION LIPIDIQUE CHEZ DES ALEVINS DE TRUITE ARC-EN-CIEL

FONTAGNE S., BREQUE J., BISCARRAT B., LINGRAND M., PUYO S.

UMR Nutrition, Aquaculture et Génomique NuAGe – Station d'Hydrobiologie INRA
64310 Saint Pée-sur-Nivelle

Introduction

La qualité nutritionnelle du poisson est liée en grande partie à la composition de ses dépôts lipidiques tels que les caroténoïdes et surtout les acides gras à chaîne longue polyinsaturée (AGLPI) de la série n-3 qui constituent la "valeur santé" du poisson pour le consommateur. Or ces acides gras, comme les caroténoïdes, sont très sensibles aux phénomènes de peroxydation qui peuvent se produire aussi bien *in vitro* dans l'aliment qu'*in vivo* chez le poisson. La peroxydation lipidique chez le poisson a pour conséquence une diminution des qualités nutritionnelles (diminution de la teneur en acides gras polyinsaturés n-3) et organoleptiques (altération de la flaveur et de la couleur du poisson). De plus les composés d'oxydation formés peuvent avoir des effets délétères pour la santé du poisson et celle du consommateur. Le poisson comme tous les autres organismes possèdent des systèmes de protection contre l'oxydation tels que la vitamine E. Nous avons donc testé l'impact d'une supplémentation de l'aliment avec des composés anti-oxydants (vitamine E) et pro-oxydants (huile de poisson oxydée) sur la peroxydation lipidique chez des alevins de truite arc-en-ciel, principale espèce piscicole produite en France.

Matériels et méthodes

Des alevins de truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) d'un poids moyen initial de 0,13 g ont été élevés à 17 °C dans les installations expérimentales INRA de Donzacq (40). Ils ont été nourris manuellement à satiété 6 à 8 fois par jour pendant 12 semaines. Quatre aliments ont été testés en triplicat avec 300 alevins par bac d'élevage dès la première prise de nourriture. La composition de ces aliments isolipidiques (17 % de la matière sèche, MS) et isoprotéiques (58 % MS) diffère uniquement par les teneurs en vitamine E (sous forme d'acétate d' α -tocophérol) : 50 mg/kg dans les aliments TNT et OXT et 300 mg/kg dans les aliments TNE et OXE et par les teneurs en huile oxydée : 0 dans les aliments TNT et TNE et 50 g/kg dans les aliments OXT et OXE. Nous avons utilisé une huile de capelan brute sans anti-oxydant qui a été oxydée par bullage d'air à 50 °C pendant 48 h puis stabilisée avec de l'éthoxyquine (300 ppm) comme l'huile de capelan témoin. L'oxydation de l'huile a entraîné une modification de la composition en acides gras, en particulier celle des AGLPI n-3 qui ne représentent plus que 6 % des acides gras totaux de l'huile oxydée vs. 11 % dans l'huile de poisson témoin. Cependant, la teneur en AGLPI n-3 des régimes reste suffisante pour couvrir les besoins en acides gras essentiels des alevins. Le niveau d'oxydation de l'huile a été vérifié par la mesure de l'indice de peroxyde d'après Shantha et Decker (1994) et a été estimé à 245 ± 16 meq/kg pour l'huile oxydée vs. $0,6 \pm 0,1$ meq/kg pour l'huile non oxydée. Les performances zootechniques des alevins de truite ont été enregistrées. Nous avons mesuré sur les alevins entiers les lipides totaux (Folch et al., 1957) ainsi que certains indices de peroxydation lipidique : indice de peroxyde (Shantha et Decker, 1994), diènes et triènes conjugués (AFNOR, 2002), indice d'anisidine (AFNOR, 2000) et les substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARs) (Salih et al., 1987). Les teneurs en tocophérols ont été déterminées par HPLC d'après Akhtar et al. (1999).

Résultats

Les performances zootechniques des alevins de truite n'ont pas été significativement affectées par une supplémentation de l'aliment avec de la vitamine E et des lipides oxydés (Tableau 1). De même, les indices de peroxydation lipidique ne sont pas significativement différents entre les lots d'alevins. En revanche, les alevins nourris avec les aliments TNE et OXE contenant 300 mg/kg de vitamine E présentent des teneurs en α -tocophérol significativement plus élevées que celles des alevins nourris avec les aliments TNT et OXT contenant 50 mg/kg de vitamine E (33 ± 9 vs. 6 ± 2 mg/kg). Aucun effet significatif d'une supplémentation de l'aliment avec de l'huile oxydée n'a été mis en évidence sur les différents paramètres mesurés chez les alevins de truite arc-en-ciel.

Tableau 1. Impact d'une supplémentation en l'huile de poisson oxydée et en vitamine E sur les performances zootechniques, les indices de peroxydation lipidique et les teneurs en tocophérols des alevins de truite arc-en-ciel après 12 semaines d'alimentation.

Régime	TNT	TNE	OXT	OXE
Survie finale (%)	92 ± 1	91 ± 1	91 ± 0	90 ± 8
Poids moyen final (g)	4,1 ± 0,1	4,2 ± 0,3	4,1 ± 0,2	3,9 ± 0,3
Lipides totaux (% poids frais)	8,2 ± 0,5	7,3 ± 0,8	7,9 ± 0,2	7,0 ± 1,2
Indice de peroxyde (meq/kg de lipides)	3,1 ± 1,6	2,5 ± 0,6	3,3 ± 1,2	3,7 ± 3,2
Diènes conjugués E ₂₃₂	12,8 ± 2,4	12,0 ± 0,3	11,3 ± 0,9	13,4 ± 3,9
Triènes conjugués E ₂₆₈	2,8 ± 0,6	2,5 ± 0,3	2,7 ± 0,0	2,4 ± 0,5
Indice d'anisidine	2,0 ± 0,8	2,1 ± 1,1	2,3 ± 0,2	3,9 ± 1,2
TBARs (µmol/kg d'échantillon frais)	3,0 ± 0,3	2,3 ± 0,6	2,7 ± 0,3	2,7 ± 0,2
α-tocophérol (mg/kg d'échantillon frais)	7 ± 1 b	38 ± 12 a	5 ± 1 b	28 ± 2 a
γ-tocophérol (mg/kg d'échantillon frais)	0,23 ± 0,08	0,16 ± 0,09	0,19 ± 0,09	0,14 ± 0,06

Les moyennes (n = 3) suivies d'indices différents sont significativement différentes (P > 0,05) d'après une ANOVA et un test de Newman-Keuls.

Discussion

Aucun effet significatif d'une supplémentation en huile oxydée ou en vitamine E n'a été mis en évidence sur les performances de croissance des alevins. Ces résultats confirment des travaux antérieurs sur des juvéniles de truite arc-en-ciel nourris avec différentes doses de vitamine E et d'huile oxydée (Hung et al., 1981) à la différence de ce qui a été rapporté chez d'autres espèces comme le poisson-chat africain (Baker et Davis, 1997) et le tilapia (Huang et Huang, 2004). Cette différence de sensibilité a déjà été rapportée par Cowey et al. (1984) qui a signalé un effet significatif d'une supplémentation en vitamine E et en huile oxydée chez la truite arc-en-ciel seulement à des températures d'élevage inférieures à 12 °C.

La supplémentation de l'aliment avec 5 % d'huile oxydée n'a eu aucun effet significatif sur la composition corporelle des alevins à la différence de ce qui a été rapporté Hung et al. (1981) qui ont observé une diminution des teneurs en vitamine E dans le foie et le plasma de truites nourries avec une huile oxydée dont l'indice de peroxyde s'élevait à 98 meq/kg. Seule la supplémentation de l'aliment avec 300 mg/kg de vitamine E a eu pour conséquence d'augmenter significativement les teneurs en α-tocophérol des alevins comme cela est classiquement décrit (Tocher et al., 2002).

En conclusion, les résultats obtenus suggèrent que les défenses anti-oxydantes des alevins de truite arc-en-ciel sont suffisamment efficaces pour tolérer une alimentation avec 5 % d'huile oxydée et que la teneur en vitamine E de l'aliment reflète la teneur en vitamine E des alevins.

Références bibliographiques

- AFNOR, 2002. NF EN ISO 6685 T60-246.
 AFNOR, 2002. NF EN ISO 3656 T60-223.
 Akhtar P., Gray J.I., Cooper T.H., Garling D.L., Booren A.M., 1999. *J. Food Sci.*, 64, 234-239.
 Baker R.T.M., Davies S.J., 1997. *Aquacult. Nutr.*, 3, 91-97.
 Cowey C.B., Degener E., Tacon, A.G.J., Youngson A., Bell J.G., 1984. *Br. J. Nutr.*, 51, 443-451.
 Folch J., Lee M., Sloane Stanley G.H., 1957. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
 Huang C.H., Huang S.L., 2004. *Aquaculture*, 237, 381-389.
 Hung S.S.O., Cho C.Y., Slinger S.J., 1981. *J. Nutr.*, 111, 648-654.
 Salih A.M., Smith D.M., Price J.F., Dawson L.E., 1987. *Poult. Sci.*, 66, 1483-1488.
 Shantha N.C., Decker E.A., 1994. *J. AOAC Int.*, 77, 421-424.

Remerciements

Les auteurs remercient La Lorientaise pour la fourniture d'huile de poisson sans anti-oxydant ainsi que F. Terrier, F. Sandres, Y. Hontang et P. Aguirre pour l'élevage des alevins de truite et la fabrication des aliments.

REMPACEMENT DE L'HUILE DE POISSON PAR DES HUILES VEGETALES CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL : INCIDENCE SUR LES QUALITES NUTRITIONNELLES ET ORGANOLEPTIQUES.

CORRAZE G.¹, RADUNZ-NETO J.², RICHARD N.¹, CARDINAL M.³ et KAUSHIK S.¹

¹ UMR Nutrition, Aquaculture, Génomique, INRA, 64310 St. Pée/Nivelle, France.

² Depto. Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Bresil.

³ Laboratoire Génie Alimentaire, IFREMER, BP 21105, 44311 Nantes, France

Introduction.

Un des enjeux majeur en nutrition des poissons est la diminution de l'emploi de matières premières d'origine marine (farines et huiles de poissons) afin de préserver les ressources naturelles tout en permettant un développement durable de l'aquaculture. Pour cela il est nécessaire de diversifier les matières premières incorporées dans les aliments pour poissons, en particulier en utilisant des protéines et huiles végétales, disponibles en plus grandes quantité et avec plus de régularité. Cependant, la nature des lipides incorporés dans les aliments piscicoles conditionne la composition en acides gras de la chair.

Or, la composition des dépôts lipidiques joue un rôle majeur dans la détermination de la qualité des poissons (organoleptique, rendement à la transformation, conservation) (Covey 1993, Ackman 1995). En outre, la préservation de la teneur en acides gras polyinsaturés dans la chair des poissons reste l'objectif primordial, surtout pour l'alimentation de l'homme (Sargent, 1997).

Le but de ce travail est d'étudier l'incidence du remplacement de l'huile de poisson par un mélange d'huiles végétales, depuis la première alimentation, sur la qualité de la chair chez la truite arc-en-ciel.

Matériel et méthodes.

Trois régimes expérimentaux isoprotéiques (50% MS) et isolipidiques (30 % MS) et ne différant que par la nature des huiles incorporées ont été formulés. Ces régimes, à base de farine de poisson, contenaient :

- Aliment A : 100 % huile de poisson
- Aliment B : 25 % huile de poisson + 75 % mélange d'huiles végétales
- Aliment C : 100 % mélange d'huiles végétales.

Le mélange d'huiles végétales utilisé était composé de : 55 % colza / 30 % palme / 15 % de lin de façon à obtenir pour les différentes classes d'acides gras des teneurs globales proches de celles de l'huile de poisson.

Ces régimes ont été distribués à des lots de truites arc-en-ciel dès la première alimentation (poids initial : 0,13 g) et ce pendant 62 semaines. Les poissons ont été élevés à température constante (17 ± 1 °C) et alimentés manuellement à satiété visuelle. Les performances de croissance des animaux ont été suivies pendant toute la durée de l'expérimentation. Au terme des 62 semaines, nous avons analysé la composition corporelle des animaux, la composition du muscle (lipides et pigments caroténoïdes) ainsi que la composition en acides gras des poissons entiers et du muscle. Les caractéristiques sensorielles des filets fumés (fumage traditionnel à froid) ont été déterminées par des tests de profil. Par ailleurs, des analyses par nez électronique ont été réalisées sur des filets frais (Coll. Alpha MOS, Toulouse).

Résultats et discussion.

Après 62 semaines d'alimentation, les performances de croissance sont comparables entre les lots (poids moyen final : 1011 - 1047 g), on n'observe pas non plus de différences dans la composition corporelle des poissons entiers. Les teneurs en lipides totaux (Figure 1) et en pigments caroténoïdes du muscle ne sont pas différentes entre les animaux ayant reçu l'aliment à base d'huile de poisson (Alt A) et ceux ayant reçu les aliments contenant le mélange d'huiles végétales (Alt B et C).

La composition en acides gras des lipides totaux des poissons entiers et des lipides neutres du muscle reflète celle des lipides alimentaires. Avec les régimes à base d'huiles végétales on observe des teneurs plus élevées en acides gras caractéristiques de ces huiles (18 :1, 18 :2 n-6 ou 18 :3 n-3) alors qu'avec le régime A (huile de poisson) les teneurs en 20 :1, 22 :1, 20 :5 n-3 et 22 :6 n-3 sont plus importantes (Figure 2). Cependant chez les animaux ayant reçu les aliments B et C (huiles végétales) les teneurs en AGPI n-3 sont supérieures dans les tissus comparé à celles dans les aliments et la composition en acides gras de la fraction lipides polaires est relativement stable ce qui indique une rétention sélective des AGPI et/ou une synthèse de ces acides gras à partir des précurseurs à chaîne plus courte (C18).

Le remplacement de l'huile de poisson par des huiles végétales n'a qu'un effet modéré sur les caractéristiques sensorielles des filets fumés. Chez les animaux alimentés avec le régime A (huile de poisson) on note une odeur fumée plus prononcée alors que chez les animaux ayant reçu le régime C (huiles végétales) l'aspect gras est plus prononcé et la texture en bouche est moins ferme et plus fondante.

Les analyses par nez électronique réalisées sur les filets frais ont montré qu'il était possible de discriminer l'empreinte olfactive de la chair entre les lots alimentés avec le régime huile de poisson et ceux ayant reçu les aliments contenant les huiles végétales.

Figure 1 : Teneur en lipides des filets.

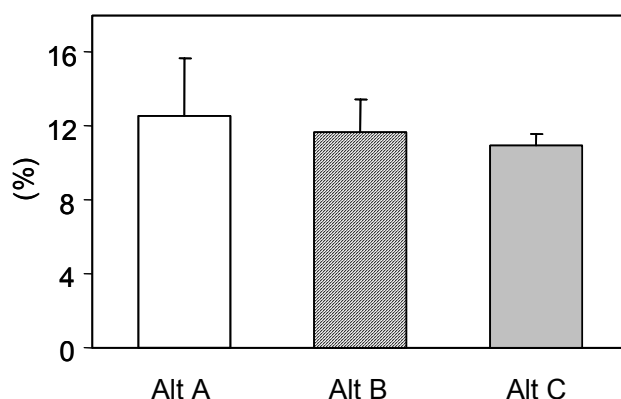
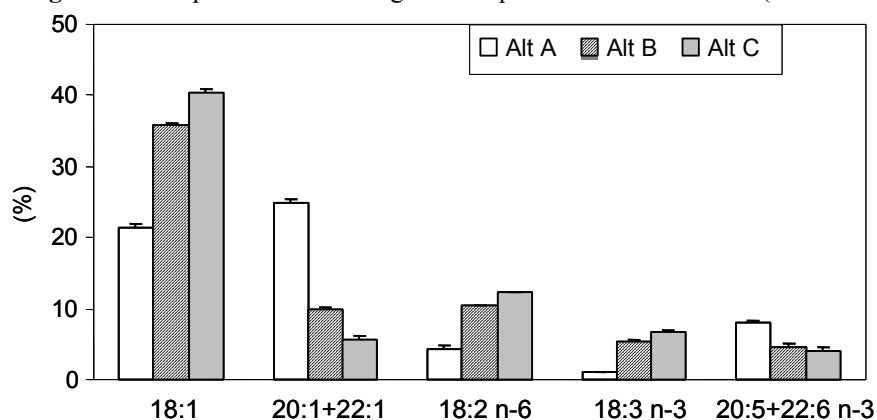


Figure 2 : Composition en acides gras des lipides neutres du muscle (% AG Totaux)



Conclusions.

Cette étude montre donc qu'il est possible, chez la truite arc-en-ciel, d'utiliser des régimes à base d'huiles végétales pendant toute la durée du cycle de vie sans altérer la croissance ni la composition corporelle globale. La composition en acides gras des poissons et du muscle reflète celle des lipides alimentaires, cependant les teneurs en AGPI n-3 sont plus élevées dans les tissus. Nos résultats soulignent l'intérêt d'utiliser un mélange d'huiles végétales qui permet de minimiser les variations de composition en acides gras de la chair, en particulier pour le 18 :1, 18 :2 n-6 et 18 :3 tout en maintenant une certaine richesse en AGPI n-3. Le remplacement de l'huile de poisson par des huiles végétales n'a que des effets modérés sur les caractéristiques sensorielles de la chair chez la truite arc-en-ciel, même si l'empreinte olfactive de la chair, évaluée par nez électronique, est différente en fonction des huiles ingérées.

Références.

- Ackman R.G., 1995. In " Fish and Fishery Products ", pp 117-156, Ed. Ruitter A., CAB International.
 Cowey C.B., 1993. In : Fish Nutrition in Practice. Proc. IV Int. Symp. Fish Nutrition and Feeding, pp 227-236, Ed. Kaushik S. and Luquet P., Editions INRA, Paris.
 Sargent J.R., 1997. Brit. J. Nut., 78, S5-S13.

Ce travail fait partie du projet européen RAFOA, N°: Q5RS-2000-30058

EFFETS DU JEUNE ET DE LA REALIMENTATION SUR LES CARACTERISTIQUES DU TISSU MUSCULAIRE DE TRUITE ARC-EN-CIEL

LEFEVRE F., PABOEUF G., BUGEON J.

Equipe croissance et qualité de la chair, SCRIBE-INRA, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex

Introduction

Les différents acteurs de la filière piscicole sont demandeurs de critères de qualité du produit. L'identification de protéines dont la présence, l'absence ou le niveau d'expression peuvent être associées à des caractéristiques qualitatives définies permet d'envisager leur utilisation comme critères de classification des produits (carcasses ou filets). Parmi les critères de qualité organoleptique, la texture de la chair des poissons est déterminante pour l'appréciation sensorielle du produit. Ce paramètre dépend de la structure du muscle (organisation tridimensionnelle des fibres musculaires et des tissus conjonctifs et adipeux) et des propriétés des composants, essentiellement protéiques (Dunajski, 1979).

La mise en évidence de marqueurs de qualité implique de disposer de produits ayant des caractéristiques qualitatives différentes. Chez les poissons, une période de jeûne prolongé conduit à un arrêt de la croissance globale et musculaire. Après une phase de réalimentation, la reprise de croissance musculaire (hypertrophique mais aussi hyperplasique chez les poissons) affecte significativement les caractéristiques biochimiques et structurales du tissu musculaire avec pour conséquence une modification des paramètres de qualité et en particulier de la texture (Bugeon et al., 2004).

L'objectif de cette expérimentation était de tester la faisabilité d'une approche protéomique sur le muscle de truite en analysant les effets du jeûne et de la réalimentation sur le protéome du muscle blanc pour identifier des marqueurs différentiellement exprimés dans une démarche sans a priori. Cette approche est mise en parallèle avec le suivi de la structure du muscle en analyse histologique.

Matériel et méthodes

Des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) monosexes femelles (poids moyen initial : 140g) ont été mises à jeun pendant 4 semaines puis renourries pendant 29 jours. Des prélèvements ont été effectués à la mise en lot (MEL), à la fin de la période de jeûne (J0) et régulièrement pendant la phase de réalimentation (J1 à J29). Des témoins ont été suivis en parallèle et prélevés à la fin de la période de jeûne (T0) et de la phase de réalimentation (T29).

Pour l'analyse histologique du tissu musculaire, des échantillons de muscle blanc profond sont prélevés au niveau de la nageoire dorsale, fixés 24h dans du fixateur de Carnoy (éthanol/chloroforme/acide acétique : 6/3/1), déshydratés dans des bains successifs d'éthanol et de butanol et inclus dans la paraffine. Les coupes (10 µm) sont colorées avec le colorant de "Rojkind" (Rouge Sirius et Fast Green 0.1% dans l'acide picrique saturé) (Lopez-De-Leon et Rojkind, 1985). Elles sont ensuite observées au microscope photonique, les images sont numérisées et la surface de 300 à 500 fibres musculaires par poisson est mesurée à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (Visilog 5.4 pour Windows).

Pour l'analyse du protéome, des prélèvements de muscle blanc profond ont été effectués en avant de la nageoire dorsale. Les échantillons ont été congelés dans l'azote liquide puis stockés à -80°C. Les protéines musculaires sont extraites par la solution de solubilisation (Urée 8M, Chaps 4%) et analysées par électrophorèse bidimensionnelle (2D-PAGE). L'IEF est réalisée sur un gradient de pH 3-10 non linéaire (18 cm) sur IPG-Phor (Amersham Biosciences) et la deuxième dimension sur SDS-PAGE (excelGel™ gradient 12-14% d'acrylamide) avec le système Multiphor (Amersham Biosciences). Les gels sont ensuite colorés au nitrate d'argent et leur image est analysée avec ImageMaster 2D Elite.

Résultats et Discussion

L'évolution du poids des animaux à jeun/renourris et des animaux témoins est présenté dans la figure 1. Après 1 mois de jeûne, les poissons ont perdu 6,7% de leur poids initial tandis que les témoins ont eu un gain de poids de 80%. La reprise alimentaire conduit à une reprise de croissance des poissons, les animaux à jeun/renourris présentant des taux de croissance spécifiques significativement supérieurs aux témoins ($2.2\% \pm 0.02$ vs $1.7\% \pm 0.03$) démontrant ainsi un phénomène de croissance compensatrice.

L'analyse histologique du muscle montre des effets du jeûne et de la réalimentation (Figures 2 et 3). Alors que chez les animaux nourris, le diamètre moyen des fibres augmente avec la croissance de l'animal, le jeûne induit une diminution du diamètre moyen des fibres musculaires, due à la fois à une augmentation de la proportion de petites fibres et à une diminution de la proportion de grandes fibres. La reprise de croissance, associée à la reprise alimentaire conduit, dans un premier temps (jusqu'à J4), à une diminution de la taille moyenne des fibres, puis à leur augmentation progressive.

La proportion de petites fibres, associées à la croissance hyperplasique, augmente fortement dès les premiers jours de réalimentation pour diminuer progressivement par la suite, jusqu'à atteindre des valeurs équivalentes au témoin à la fin de l'expérimentation.

Quand on compare, à poids égal, les animaux mis à jeun / réalimentés aux animaux témoins nourris en continu, on constate que les premiers conservent une taille de fibre inférieure jusqu'à la fin de la période de réalimentation (**Figure 3**). L'application d'un jeûne prolongé, suivi d'une période de reprise alimentaire, affecte significativement la structure du tissu musculaire, avec à la fois un recrutement très important de petites fibres néoformées et une croissance hypertrophique, associés à la reprise alimentaire.

Les protéines musculaires totales ont été analysées en électrophorèse bidimensionnelle chez les poissons à jeun ou témoins (**Figure 4**). Environ 900 spots ont été quantifiés en première analyse, dont 27 dont le niveau d'expression varie en fonction du statut nutritionnel et 28 correspondant à des protéines exprimées uniquement chez les animaux nourris (19 spots) ou à jeun (9 spots). Ces résultats sont en cours de validation, par l'analyse d'un plus grand nombre d'animaux, avant identification des spots d'intérêt en spectrométrie de masse de type MALDI-tof. L'effet de la réalimentation des poissons sur leur protéome musculaire sera ensuite abordé par l'étude des animaux prélevés à J4, moment où la proportion de petites fibres est la plus importante, afin de mettre en relation le protéome musculaire et la croissance hyperplasique.

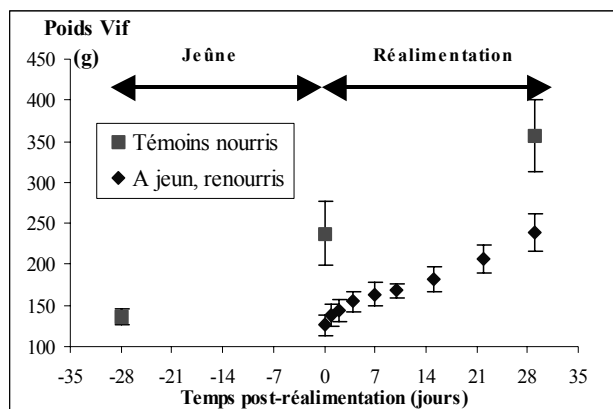


Figure 1 : Effets du jeûne et de la réalimentation sur l'évolution du poids vif de truites arc-en-ciel, n=12.

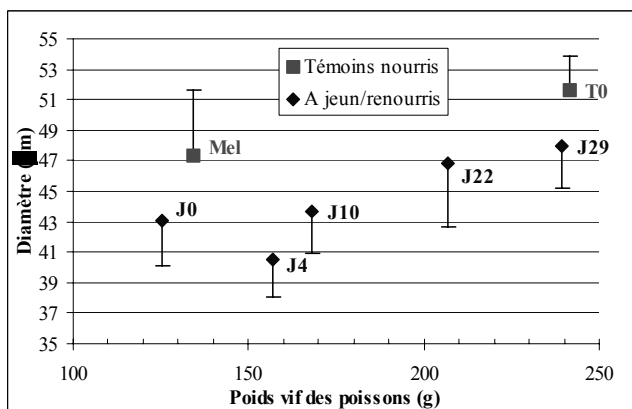


Figure 3 : Diamètre moyen des fibres du muscle blanc de truites témoins ou réalimentées en fonction du poids vif, n=12

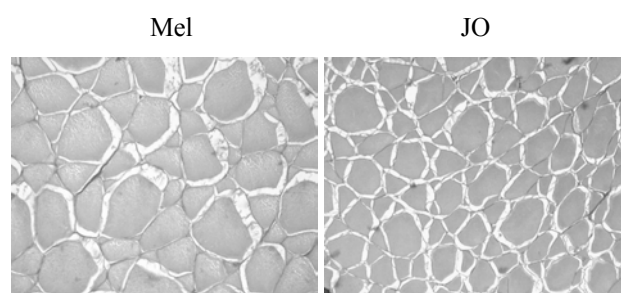


Figure 2 : Coupes histologiques de muscle blanc de truites témoins à la mise en lot (Mel) et après 4 semaines de jeûne (J0)

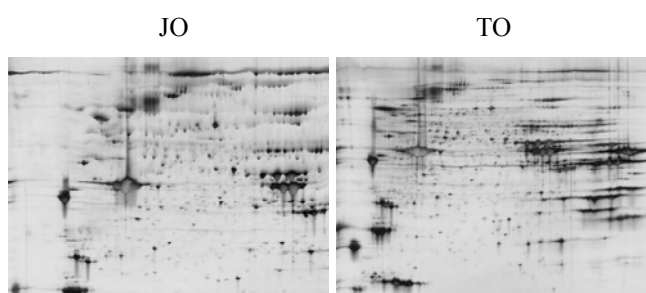


Figure 4 : Comparaison des gels 2D-PAGE des poissons à jeun (J0) ou témoin (T0). IEF : 3-10NL, dépôt : 100 µg de protéines

Conclusions et perspectives

L'application d'un jeûne suivi d'une phase de réalimentation a démontré son efficacité pour affecter la structure du tissu musculaire ce qui explique l'effet majeur de ce type de facteur sur la texture. La faisabilité d'une démarche protéomique dans ce type de protocole est démontrée. La stimulation de croissance, globale et musculaire, associée à la reprise alimentaire permet d'envisager l'identification de marqueurs associés à ces phénomènes par l'analyse du protéome.

Références bibliographiques

- Bugeon J., Lefèvre F., Fauconneau B., 2004. *J. Sci. Food Agric.*, 84, 1433–1441.
 Dunajski E., 1979. *J. Texture Stud.*, 10, 301-318.
 Lopez-De-Leon A, Rojkind M. 1985. *J. Histochem. Cytochem.*, 33, 737-743.

Remerciements

Les auteurs remercient J. Aubin, L. Labbé, I. Quéau et l'ensemble du personnel de la SEMII (Station Expérimentale Mixte INRA-IFREMER, Sizun, 29) pour le suivi de l'expérimentation in vivo et leur aide lors des prélèvements.

IMPACT DU NIVEAU D'OXYGENE PENDANT LA CROISSANCE SUR LA STRUCTURE DU MUSCLE ET LA TEXTURE DE LA CHAIR DE TRUITE (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) ?

BUGEON J.¹, AUBIN J.²⁻³, PABOEUF G.¹, LEFEVRE F.¹

¹Equipe croissance et qualité de la chair, SCRIBE-INRA, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

²Equipe Fields, UMR SAS, CS 84215, 65 rue de St Briec, 35 042 Rennes cedex, France

³Salmoniculture Expérimentale Mixte INRA-IFREMER (SEMII), BP 17, Barrage du Drennec, 29450 Sizun, France

Introduction

Le développement de la pisciculture repose notamment sur la maîtrise de la qualité des produits pour répondre aux préoccupations des transformateurs et des consommateurs. Parmi les critères de qualité, la maîtrise des propriétés organoleptiques comme la texture est un enjeu important. Des défauts de texture de la chair (ouverture des feuillets musculaires, chair molle) peuvent apparaître et contribuer à une dépréciation du produit aussi bien pour les transformateurs (possibilité de tranchage mécanique) que les consommateurs (aspect, texture). Le déterminisme de la texture de la chair des poissons d'élevage est multifactoriel. La texture dépend plus spécifiquement des caractéristiques des composants protéiques (protéines myofibrillaires, collagènes) et de la structure du muscle (taille des fibres musculaires, tissu conjonctif). La recherche du déterminisme de ces défauts de texture en élevage nécessite d'analyser l'impact des différents facteurs externes (température, vitesse du courant, photopériode, etc...) susceptibles de modifier les caractéristiques des poissons et la qualité de la chair. Les salmonidés sont des poissons sensibles au niveau d'oxygène de l'eau, et le recours à une oxygénation de l'eau peut être nécessaire en élevage. Aucune donnée n'existe sur les effets de la teneur en oxygène de l'eau autour de la normoxie (100% de saturation) sur les caractéristiques du tissu musculaire et la qualité du produit. L'objectif de ce travail était d'analyser les effets à long terme de légères hypoxie (80% de la saturation) ou hyperoxie (120% de la saturation) sur les caractéristiques du muscle et la texture de la chair.

Matériels et Méthodes

Des truites arc-en-ciel d'un poids moyen de 12g ont été réparties en 9 lots de 290 poissons et élevées dans des bassins de 2m³ alimentés en eau de rivière. Les poissons sont nourris *ad libitum* avec un aliment standard (42% protéines, 22% lipides). Trois niveaux d'oxygène autour de la normoxie (80%, 100%, 120% de la saturation) ont été appliquées en triplicat en ajoutant des proportions variables d'eau sursaturée en oxygène (200%) pendant 23 semaines. En fin d'expérimentation les poissons (poids moyen de 400g) ont été mis à jeun 48 h. 8 poissons par bassin ont été prélevés. Les paramètres suivants sont mesurés sur chaque poisson : poids vif, longueur totale, coefficient de condition (poids vif/longueur³), la teneur en lipide de la chair est estimée à l'aide du fish fat-meter[®]. Le poisson est ensuite éviscéré puis fileté. Le filet gauche est stocké 24 à 48h sur glace avant d'être analysé au laboratoire. La résistance mécanique du filet cru est mesurée sur un morceau de filet de 6,4 cm de long prélevé en zone antérieure et caudale en réalisant un test de compression cisaillement à l'aide d'une presse de Kramer montée sur un Instron[®]. La résistance spécifique (force maximale/poids de l'échantillon) ainsi que les forces aux faibles (20%) et fortes déformations (80%) sont calculées. Pour l'analyse histologique, un échantillon de muscle est prélevé en zone caudale (aplomb de la nageoire adipeuse) fixé au carnoy, déshydraté puis inclus dans la paraffine, des coupes histologiques de 10µm sont réalisées, colorées au rouge sirius et fast green à 0,1% dans une solution saturée d'acide picrique. Les coupes sont observées au microscope photonique, des images sont numérisées, l'épaisseur maximale du muscle rouge est mesurée au niveau de la ligne latérale ainsi que la surface de 300 à 500 fibres musculaires des muscles rouge et blanc à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (Visilog 5.4[®] pour Windows[®]).

Résultats et Discussion

Une différence de poids final est observée entre les lots après 23 semaines d'élevage ; les bassins soumis à 100% de saturation en oxygène présentant des croissances plus faibles par rapport aux deux autres lots (Lefevre et al., soumis). Néanmoins, la teneur en oxygène de l'eau n'a pas eu d'impact sur la croissance (poids et longueur) des poissons prélevés (Tableau 1). Seules des situations d'hypoxie sévères (niveau inférieur à 60% d'oxygène) permettent d'observer des différences significatives de croissance (Dabrowski et al., 2004). La conformation des poissons est semblable entre les lots de même que la teneur en lipide du filet évaluée sur le poisson entier avec le fish fat-meter. La résistance mécanique de la chair mesurée avec la presse de Kramer est également peu affectée par le niveau d'oxygène, seule la force de compression aux faibles déformations dans la zone antérieure du filet est significativement plus importante pour le lot 120% par rapport aux lots 80 et 100% d'oxygène, la résistance mécanique de la zone caudale n'étant pas modifiée (Tableau 1). Pour le lot en hyperoxie une augmentation de l'épaisseur du muscle rouge (muscle oxydatif) est observée, mais aucune différence significative du diamètre moyen des fibres du muscle blanc ou rouge n'apparaît entre les lots (Tableau 2). Les fibres rouges présentent un diamètre moyen inférieur à celui des fibres blanches. L'absence de différence significative de taille des fibres

du muscle est cohérente avec l'absence d'effet observé sur la résistance mécanique du filet cru dans cette zone. En effet, un plus faible diamètre moyen des fibres est classiquement associé à une fermeté accrue (Bugeon et al., 2003). L'augmentation de la proportion de muscle rouge n'a pas eu d'impact sur la résistance mécanique du filet cru et cette augmentation n'est pas liée à un phénomène d'hypertrophie ou d'hyperplasie plus prononcé des fibres du muscle rouge dans ce lot. La résistance mécanique de la zone caudale du filet est supérieure à celle obtenue en zone antérieure, et liée sur le filet cru au gradient antéro-postérieur de teneur en collagène (Sigurgisladdottir et al., 1999). Les différences de résistance mécanique observées pour les faibles déformations en zone antérieure entre les lots seraient d'avantage liées aux caractéristiques du tissu conjonctif qu'aux fibres musculaires.

Tableau 1 : Effets de la teneur en oxygène de l'eau sur la croissance, les paramètres morphométriques et des paramètres de qualité de la chair de la truite arc-en-ciel, moyenne±écart type, n=24, NS : non significatif, ** p<0,01, *** p<0,001, les valeurs affectées de différentes lettres sont significativement différentes entre les lots.

Niveau d'oxygène	80%	100%	120%	ANOVA
Poids vif (g)	393±73	395±96	414±59	NS
Longueur (mm)	301±18	304±23	305±12	NS
K (g/mm ³)	1,43±0,16	1,39±0,1	1,45±0,17	NS
Valeur Fat-meter	2,58±0,76	2,53±0,7	2,68±0,67	NS
Résistance spécifique antérieure (N/g)	15,32±3,13	16,57±2,89	16,28±3,14	NS
Force à 20% déformation antérieure (N/g)	1,15±0,17 b	1,31±0,21 a	1,34±0,18 a	***
Force à 80% déformation antérieure (N/g)	12,54±2,5	13,28±2,2	13,04±2,2	NS
Résistance spécifique caudale (N/g)	32,25±7,9	35,83±8,75	32,93±9,8	NS
Force à 20% déformation caudale (N/g)	1,27±0,34	1,32±0,2	1,28±0,2	NS
Force à 80% déformation caudale (N/g)	17,04±3,7	17,91±4,17	16,18±3,03	NS

Tableau 2 : Effets de la teneur en oxygène de l'eau sur la proportion de muscle rouge et le diamètre moyen des fibres musculaires rouge et blanche de la truite arc-en-ciel, moyenne±écart type, n=22, NS : non significatif, ** p<0,01, *** p<0,001, les valeurs affectées de différentes lettres sont significativement différentes entre les lots.

Niveau d'oxygène	80%	100%	120%	ANOVA
Épaisseur relative de muscle rouge (%)	41,9±7,9 b	41,3±7,3 b	49,8±11 a	**
Diamètre moyen fibre blanche (µm)	47,8±4,3	48,1±5	50,6±4,5	NS
Diamètre moyen fibre rouge (µm)	29,4±3	30,2±4,2	30,6±4,2	NS

Conclusions

La teneur de l'oxygène de l'eau lorsqu'elle est située autour de la normoxie n'a pas d'impact sur les caractéristiques morphologiques (poids, conformation) des truites arc-en-ciel, montrant ainsi la capacité d'adaptation de cette espèce à des niveaux d'oxygène différents pendant la phase de croissance. Les effets sur la qualité de la chair restent modérés, une légère hyperoxie induisant des résistances plus importantes pour les faibles déformations. Ces différences n'étant pas liées à la taille des fibres musculaires, le rôle du tissu conjonctif peut être suspecté nécessitant des analyses complémentaires des caractéristiques du collagène. Cette expérience montre qu'une hyperoxie limitée induit une augmentation de la proportion de muscle rouge, qui peut représenter un effet préjudiciable à la qualité du produit.

Références bibliographiques

Bugeon J., Lefevre F., Fauconneau B., 2003. *Aqua Res.*, 34,1287-1295.
 Dabrowski K., Lee K J., Guz L., Verlhac V., Gabaudan J., 2004. *Aquaculture* 233 (1-4),383-392.
 Lefevre F., Aubin J., Louis W., Labbé L., Bugeon., 2004. *Aquaculture* soumis.
 Sigurgisladdottir S., Hafsteinsson H., Jonsson A., Lie O., Nortvedt R., Thomassen M., Torrissen O., 1999. *J Food Sci.*, 64,99-104.

Remerciements

Les auteurs remercient Laurent Labbé, Wilfried Louis, et l'ensemble du personnel de la SEMII pour l'élevage des poissons et leur aide lors des prélèvements et mesures.

CARACTÉRISATION DES MECANISMES PROTEOLYTIQUES DANS LE MUSCLE DE BAR (*Dicentrarchus labrax L.*)

CHÉRET R.^{1,2}, DELBARRE-LADRAT C.², DE LAMBALLERIE-ANTON M.¹,
VERREZ-BAGNIS V.²

¹ UMR CNRS 6144 BP 82225, 44322, Nantes Cedex 3, France

² IFREMER, Rue de l'Île d'Yeu, BP 21105, 44311 Nantes Cedex 3, France

e-mail: cheret@enitaa-nantes.fr

Introduction

La texture d'un aliment est considérée par le consommateur comme un critère important de qualité ; en particulier pour le muscle de poisson, la fermeté est recherchée. Lors de la conservation à température réfrigérée, la dégradation *post-mortem* des protéines de structure contribue à un ramollissement rapide du muscle de poisson. Deux systèmes protéolytiques sont souvent décrits comme impliqués dans ce processus de dégradation : les cathepsines et les calpaïnes.

La présente communication décrit et quantifie les protéases présentes dans le muscle de bar et ayant un rôle potentiel lors de la dégradation *post-mortem*. De plus, elle identifie les substrats de ces enzymes.

Résultats et discussion

Quantification des protéases intervenant lors de la protéolyse *post-mortem* du muscle de poisson

Dans l'extrait sarcoplasmique de muscle blanc de bar (qui comprend différentes catégories d'enzymes, des inhibiteurs,...), différentes protéases sont identifiées et quantifiées à l'aide de substrats spécifiques (tableau 1). Parmi les cathepsines à cystéine (cathepsines B, H et L), la cathepsine L est la plus représentée et la cathepsine H peut être considérée comme négligeable.

	Protéases	Activités
Muscle blanc de bar (<i>Dicentrarchus labrax L.</i>)	Cathepsine D	0,019± 0,00225
	Cathepsine H	0,73±0,17
	Cathepsine B	9,32±0,34
	Cathepsines (B+L)	50,83±2,93
	Cathepsine L *	41,51
	Calpaïnes	93,68±18,67

Tableau 1 : Activités des différentes protéases (cathepsine D, cathepsine B, cathepsine H, cathepsines (B+L) et calpaïnes) dans le muscle de bar et dans la viande. Les unités des différentes activités sont : absorbance à 295 nm/min/ par quantité de protéines dans d'extrait pour l'activité de la cathepsine D ; Unités de Fluorescence/min par quantité de protéines dans d'extrait pour les activités des autres cathepsines et des calpaïnes ; *l'activité de la cathepsine L est obtenue par déduction en faisant la différence entre les activités des cathepsines B+L et de la cathepsine B.

Afin de comprendre les mécanismes de dégradation *post-mortem*, les protéases ainsi mises en évidence sont incubées avec un extrait de protéines.

Effet des cathepsines sur les protéines myofibrillaires

La figure 1 illustre l'effet *in vitro* des cathepsines B, D et L sur les protéines de structure du muscle. Nos résultats révèlent que la chaîne lourde de la myosine (MHC), l' α -actinine, la desmine, l'actine, la troponine T et d'autres protéines non identifiées peuvent être substrats de ces enzymes lysosomales. Les dégradations induites par la cathepsine D sont similaires aux modifications observées sur les protéines myofibrillaires lors de la conservation du muscle sur glace (Ladrat et al., 2003).

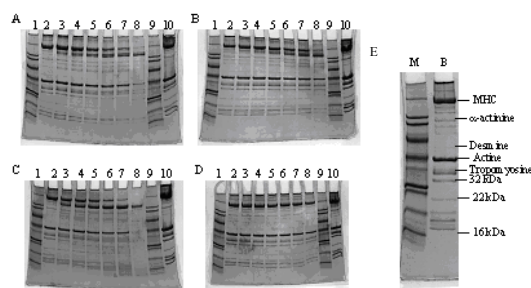


Figure 1 : Gel SDS-PAGE de protéines myofibrillaires incubées avec différentes pendant 0 min (ligne 2), 30 min (ligne 3), 1 h (ligne 3), 2h (ligne 4), 4h (ligne 5), 6h (ligne 6), 8h (ligne 7) ; 22h (ligne 8), extrait initial de protéines myofibrillaires (ligne 10) (gel A : incubation avec la cathepsine B ; gel B : incubation avec la cathepsine D, gel C : incubation avec la cathepsine L). Gel E : M : extrait de protéines myofibrillaires, B : marqueurs de poids moléculaire (SDS-6H et SDS-7 de Sigma).

Effet des calpaïnes sur les protéines myofibrillaires

Le gel présenté figure 2 montre l'effet *in vitro* de la m-calpaïne extraite du muscle blanc de bar (isoforme dont l'activité nécessite une concentration en calcium de l'ordre du millimolaire) sur les protéines myofibrillaires. La m-calpaïne est capable de dégrader certaines protéines de structure comme la myosine, la tropomyosine. Mais ces observations ne sont pas directement corrélées aux observations effectuées lors d'un stockage du muscle blanc sur glace et laisseraient penser que la calpaïne n'est pas l'enzyme responsable de l'attendrissement de la chair de poisson.

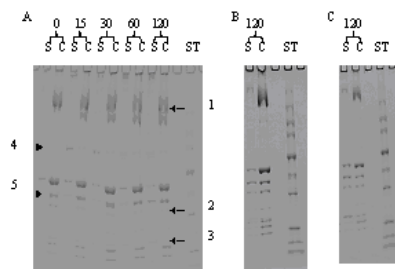


Figure 2: Gel SDS-PAGE de protéines myofibrillaires incubées avec la m-calpaïne (extraite de muscle de bar) pendant 0, 15, 30, 60 et 120 minutes. Gel A : surnageant et culots de myofibrilles purifiées incubées avec la m-calpaïne. Gel B : protéines myofibrillaires incubées avec la m-calpaïne Gel C : protéines myofibrillaires incubées sans la m-calpaïne. Abréviations : S : surnageant, C : culot, ST : marqueurs de taille. Numéros précisant les protéines qui ont été modifiées : (1) : myosine, (2) : doublet de 26 et 27 kDa, (3) : protéines de 17 kDa ; (4) : bandes de 64 et 69 kDa ; (5) : tropomyosine.

Conclusion

Les résultats obtenus montrent la quantité de protéases présente dans le muscle de poisson ainsi que leur action *in vitro* sur les protéines myofibrillaires. La cathepsine L est majoritaire mais seule l'action de la cathepsine D sur les protéines myofibrillaires est corrélée aux observations dans un muscle conservé à 4°C. Par ailleurs, la calpaïne pourrait jouer après la mort du poisson un rôle mais les modifications qu'elle entraîne ne perturbent pas l'action de la cathepsine D (Delbarre-Ladrat et al., 2004). Ces résultats sont en accord avec la bibliographie où la cathepsine D est le plus souvent citée comme responsable des dégradations *post-mortem* dans le muscle de poisson. Par ailleurs, nos études, non décrites ici, sur les protéases du muscle de boeuf ont montré que les calpaïnes et la cathepsine D seraient présentes en quantité plus importante par comparaison au muscle de poisson. Les mécanismes de dégradation des protéines de structure de la viande incriminent le plus souvent les calpaïnes (Geesink et al., 2000). Nos résultats peuvent permettre d'étayer ces hypothèses.

Le muscle de bœuf et le muscle de poisson n'ont donc pas les mêmes quantités de protéases et mettraient en jeu des mécanismes d'attendrissement (recherché pour la viande bovine mais pas pour le poisson) différents.

Références bibliographiques

Delbarre-Ladrat C., Verrez-Bagnis V., Noël J., Fleurence J., 2004. Food Chem., 88, 389-395.
 Ladrat C., Verrez-Bagnis V., Noël J., Fleurence J., 2003. Food Chem., 81, 517-525.
 Geesink G.H, Ilian M.A., Morton J.D. Bickerstaffe R., 2000. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 60, 99-102.

*Crise alimentaire, principe de précaution
et économie des filières
Session 3*

Animateurs

MAINSANT P.
FOSTIER B.

INRA Ivry
ITP Le Rheu

Conférences

Session 3

LE PRINCIPE DE PRECAUTION : AVANTAGES ET LIMITES

DUFOUR B.

ENVA, Maladies contagieuses, 7 Av du Gal de Gaulle 94700 Maisons-Alfort

Introduction

Le principe de précaution, apparu il y a une vingtaine d'années dans le secteur de l'environnement, s'est rapidement imposé comme un mode de raisonnement et de gestion incontournable pour les acteurs de la sécurité sanitaire.

Sa définition, ses conditions théoriques et les modalités opérationnelles de sa mise en œuvre, leurs conséquences juridiques, économiques et politiques, ont fait l'objet de nombreux débats et d'une abondante littérature. En France de nombreuses crises sanitaires, notamment celle liées au drame des contaminations post-transfusionnelles par le VIH, ont alimenté la réflexion collective opérationnelle et l'efficacité de sa mise en œuvre.

Après la présentation commentée de quelques notions préalables, l'historique, la définition, le champ d'application du principe de précaution, puis ses avantages et ses limites seront présentés ; enfin, les bases d'une application raisonnée du principe de précaution seront discutées.

1. Risques « potentiels » et « avérés »

Risque et danger :

Avant de définir ces notions de risques « potentiels » et « avérés », il est bon de rappeler deux définitions, celle du risque et celle du danger. Le risque (Risk) est une fonction de la probabilité d'un effet néfaste sur la santé et de la **gravité** de cet effet résultant d'un ou de plusieurs dangers.

Le danger est un agent biologique, chimique ou physique, présent dans un produit ou un état de ce produit, pouvant entraîner un effet néfaste sur la santé. Dans le contexte d'élaboration de ces définitions, la santé est celle de l'homme, et en matière de zoonoses (*sensu lato*) cette notion peut-être étendue à celle des animaux.

La notion de risque correspond à une notion probabiliste : le risque est, en effet, la probabilité de survenue d'un événement, associée à ses conséquences [Ahl *et al.*, 1993]. A partir de cette notion, Kourilsky et Viney [2000] distinguent deux types de risque : le risque potentiel et le risque avéré.

Si la compréhension du risque avéré est relativement simple car il concerne des dangers dont on sait qu'ils peuvent se manifester et dont on peut donc espérer calculer une probabilité de survenue, la compréhension du risque potentiel est plus délicate. Kourilsky et Viney le définissent comme un « *risque de risque* », c'est-à-dire, en fait, une hypothèse de risque.

On peut donc considérer que le risque potentiel correspond à des craintes dont les fondements théoriques existent ; néanmoins, certains risques potentiels peuvent s'avérer nuls alors que les risques avérés ne sont, par définition, jamais nuls.

Précaution et Prévention :

La distinction entre précaution et prévention est également importante, car la prévention est une démarche classique et ancienne alors que le principe de précaution se veut une notion nouvelle.

Kourilsky et Viney [2000] indiquent que « *la précaution est relative à des risques potentiels et la prévention à des risques avérés* ». Ils précisent d'ailleurs que « *la précaution peut être comprise comme le prolongement des méthodes de prévention appliquées aux risques incertains (potentiels)* ».

2. Historique et définition du principe de précaution.

Ce sont les instances internationales qui, les premières, ont fait référence au principe de précaution [Soyeux, 1996]. Le traité de Maastricht, dans le texte instituant la Communauté européenne, cite le principe de précaution, mais c'est la conférence internationale de Rio sur l'Environnement et le Développement qui, en juin 1992, propose la première définition du principe de précaution : « *pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent largement être appliquées par les Etats selon leurs capacités. En cas de risque de dommage grave ou irréversible, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement* ».

Trois ans plus tard, en France, la loi BARNIER, relative au renforcement de la protection de l'environnement, reprend ce principe en insérant, dans le Code rural, l'article suivant : « *l'absence de certitude, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommage grave et irréversible à l'environnement, à un coût économiquement acceptable* ». Ainsi, les premiers fondements juridiques de ce qui va devenir en quelques années une règle de conduite des décideurs, non

seulement dans le secteur de l'environnement, mais dans tous les domaines comportant des risques, sont posés dans le droit français imposant aux décideurs un certain « devoir de précaution ».

Plusieurs points dans ces définitions méritent d'être commentés : La notion d'absence de certitude indique que le principe de précaution ne devrait s'appliquer que dans des situations de doute impliquant une connaissance incomplète des effets produits. On sort donc du domaine des risques connus et mesurés, voire de ceux qui peuvent être estimés. Ceci conduit à identifier une première différence entre le champ de l'analyse du risque, (et en particulier de l'appréciation du risque qui a comme objectif d'estimer le risque) et celui du principe de précaution qui devrait se limiter aux risques potentiels tels que définis par Kourilsky et Viney.

La définition de la loi française fait clairement du principe de précaution un outil de gestion du risque puisqu'il s'agit de prendre des mesures visant à prévenir le risque. Le principe de précaution apparaît donc, à la lumière de ces textes, comme l'outil de gestion des risques potentiels. Il s'agit de prendre des mesures pour prévenir une possibilité de risque ! Or il existe un nombre infini de risques potentiels ; en effet, il est possible, *a priori*, de formuler des craintes pour toute action entreprise. Les sociologues du risque indiquent bien que le risque perçu est d'autant plus grand que les conséquences sont mal connues [Kourilsky et Viney, 2000]. Ceci conduirait donc à se méfier *a priori* de tout ce qui est mal ou peu connu. Les gestionnaires se retrouvent ainsi dans une situation délicate pour décider jusqu'où il faut aller dans les mesures à prendre. Si l'acceptation du risque potentiel est la plus pessimiste (au sens du rapport Kourilsky-Viney), il n'y a pratiquement plus de limite et toute perception de risque peut conduire à immédiatement mettre en œuvre des mesures de gestion ! Conscient de cet écueil, le législateur a prévu plusieurs garde-fous qui viennent éclairer d'un jour plus nuancé le « devoir de précaution ».

Ayant bien perçu la difficulté d'ajuster le niveau des mesures de lutte à un risque potentiel, le législateur a tout de même souhaité souligner qu'il était nécessaire que les mesures soient « *proportionnées* » au risque. L'ambiguïté du texte réside dans le fait qu'il n'est pas précisé si la proportionnalité devait s'appliquer à l'effet produit (les conséquences) ou si elle devait s'appliquer à la probabilité de survenue de l'événement quelque soit la réponse.

Deux autres nuances sont à apporter :

- la première correspond aux risques qui doivent concerner des dommages « *graves et irréversibles* ». Dans le domaine de l'environnement, il est aisé de se représenter des risques graves et irréversibles pour la planète ; l'interprétation de « *grave et irréversible* » devient plus délicate dans d'autres secteurs, en particulier dans celui de la santé !

- La deuxième est apportée par la notion de « *coût économiquement acceptable* ». Si la notion d'acceptabilité du coût est relative, il reste que le législateur fait néanmoins volontairement référence explicitement à des aspects économiques pour moduler la notion d'action qui ne doit pas être entreprise à n'importe quel coût !

3. Champ d'application du principe de précaution.

Le champ du principe de précaution tel que défini, d'abord par les instances internationales puis par la loi française, est clairement le risque environnemental. Il s'agissait à l'époque de promouvoir une attitude responsable dans le domaine de l'écologie de la planète.

L'affaire du sang contaminé, en jetant un discrédit sur le monde médical, a également fait prendre conscience à l'opinion publique que les risques sanitaires pouvaient constituer un secteur aussi inquiétant que le risque environnemental. Le principe de précaution a alors gagné le domaine médical. Comme le souligne David [1998], l'extension du champ d'activité du principe de précaution a été le fait des juristes. C'est un arrêté en conseil d'Etat, en 1993, qui à propos d'une contamination par le VIH survenue en 1985, a introduit cette nouvelle obligation. Depuis, le Conseil d'Etat a longuement développé ce concept [Anonyme, 1998] et l'a radicalisé. Ainsi, il précise que « *Ce nouveau concept se définit par l'obligation pesant sur le décideur public ou privé de s'astreindre à une action ou de s'y refuser en fonction du risque possible ; dans ce sens, il ne suffit pas de conformer sa conduite à la prise en compte des risques connus, il doit en outre apporter la preuve, compte tenu de la science, de l'absence de risque* » ! On est loin ici des réserves sur les aspects économiquement acceptables ou sur les risques graves et irréversibles ! Certains vont d'ailleurs dénoncer cette obligation ; ainsi, Corinne Lepage [1999] indique que l'on se situe « *dans le scénario du pire* », qui de plus « *inverse la charge de la preuve* » ; David [1998] considère que cette acceptation du principe de précaution « *conduit à une obligation de résultats* » !

4. Avantages et inconvénients de l'application du principe de précaution.

4.1. Avantages :

Une démarche perçue comme rassurante

La multiplication exponentielle des nouvelles technologies rend le monde mouvant et donc inquiétant. Si les avancées technologiques sont perçues par beaucoup comme positives, elles ne sont pas sans engendrer des peurs. Ces peurs ont une composante rationnelle et une autre irrationnelle. La partie rationnelle peut être résumée par : « les retombées de la mise en

œuvre de toutes ces technologies ne sont elles pas à terme plus dangereuses que l'amélioration apportée par la technologie elle-même ? ». Elle s'appuie sur des faits réels observés (sang contaminé par exemple). La part d'irrationnel est alimentée par l'angoisse de l'homme moderne face à la complexité croissante de son environnement qui l'oblige à d'incessants efforts d'adaptation.

Dans ce contexte, le principe de précaution est rassurant : c'est l'outil qui est censé nous préserver des « mauvaises surprises » puisque les nouvelles technologies devront faire la preuve qu'elles ne présentent pas de risque ; c'est également la garantie que les décideurs devront placer la sécurité avant l'intérêt économique.

Un complément à l'analyse du risque avéré

Si l'analyse du risque représente un outil d'aide à la décision rationnel et cohérent, néanmoins, cette démarche est limitée aux risques avérés. Le principe de précaution vient compléter ce dispositif d'aide à la décision en proposant une démarche applicable aux risques potentiels, qu'ils soient étayés par des hypothèses solides ou simplement perçus par l'opinion publique.

Un stimulant à la recherche

Fondé sur l'incertitude scientifique, le principe de précaution conduit naturellement à approfondir les connaissances et donc il stimule la recherche afin que celle-ci lui apporte les réponses aux questions que sa formulation met en lumière.

Une transparence aisée

Enfin, le principe de précaution est plus facilement « communicable » que l'analyse du risque qui se fonde sur le postulat que le risque avéré nul n'existe pas et que l'on doit accepter un certain niveau de risque (le risque acceptable), notion mal acceptée par l'opinion publique aujourd'hui.

4.2. Inconvénients :

Un risque de frein à l'innovation technologique

Un des inconvénients majeurs du principe de précaution réside dans son pouvoir de blocage. En effet, le risque est d'interpréter le principe de précaution comme l'adage « *dans le doute, abstiens-toi !* » (dans ce cas il s'agit bien entendu d'un doute de risque). Or, toute nouvelle situation peut, *a priori* générer un risque, imaginaire ou réel. La difficulté réside dans la capacité de distinguer le réel de l'imaginaire ! Une application trop large du principe de précaution reviendrait, de fait, à paralyser l'innovation [David, 1998].

Un risque de confusion entre risques avérés et risques potentiels

La médiatisation du principe de précaution lié à une méconnaissance par le public des différences entre risques potentiels et risques avérés conduit trop souvent à ce que des risques hypothétiques soient perçus comme des risques réels (cf débat OGM). D'ailleurs l'importance des mesures prises contre ces risques potentiels conduisent à donner une image du risque potentiel plus effrayante que celles de risques bien réels mais familiers.

Une difficulté dans l'évaluation des décisions

David [1998] souligne un autre effet pervers du principe de précaution : c'est « *l'impossibilité de démontrer que la non survenue du danger supposé relève de l'erreur de l'hypothèse ou au contraire de l'efficacité des mesures* ». Par là même, l'utilisation du principe de précaution empêche l'évaluation, *a posteriori*, de la décision prise. David conclue que « *la précaution, qui ne tolère pas l'incertitude temporaire, se condamne de fait à une incertitude beaucoup plus étendue* ».

Un coût économique élevé

Il est à craindre, surtout en période d'abondance, que les coûts des mesures de précaution soient très élevés et sans véritable rapport avec le risque. Ce risque est d'autant plus élevé qu'il peut être difficile, *a posteriori*, de mesurer le véritable rapport coût/efficacité des mesures qui ont été prises.

Un risque d'usage excessif

Enfin, Kourilsky et Viney [2000] soulignent le risque que fait courir la responsabilité pénale qu'encourent maintenant les décideurs : « *il est à craindre que la tendance à la pénalisation alimente chez les décideurs une peur du procès pénal qui les amènerait à faire un usage excessif de principe de précaution pour fuir leurs responsabilités* ».

5. Application raisonnée du principe de précaution.

Si le principe de précaution apparaît aujourd'hui comme une des composantes incontournables de la gestion de la sécurité, il semble nécessaire, compte tenu des inconvénients que son application trop large ne manquerait pas de faire peser sur le fonctionnement sociétal, d'encadrer l'application de ce principe d'un certain nombre garde-fous.

C'est ainsi que les instances internationales ont commencé à réfléchir sur ce que pourrait être l'application **raisonnée** du principe de précaution et proposent des principes d'action importants [Lepage, 1999].

- Il est nécessaire de commencer par une tentative d'évaluation du risque qui devra bien identifier le degré d'incertitude scientifique à chaque étape.
- Les mesures devaient être proportionnées au risque envisagé.
- Les mesures devraient tenir compte d'une évaluation bénéfice/coût.
- Les mesures devraient toujours avoir un caractère provisoire dans l'attente des recherches spécifiques effectuées pour générer les données manquantes, afin de réaliser une évaluation des risques plus objective.

Ces principes d'action sont également repris et largement développés dans le rapport Kourilsky et Viney. Le Conseil national de l'alimentation (CNA) [Gailing et Collart-Dutilleul, 2001] précise que pour avoir recours au principe de précaution, deux circonstances devraient coexister : « *l'incertitude scientifique, mais aussi l'existence d'informations pertinentes concernant le risque identifié* » ; celui-ci devrait donc être étayé par une hypothèse sérieuse.

Par ailleurs, le CNA insiste sur la portée du caractère provisoire du principe de précaution en s'interrogeant sur les moyens de faire en sorte que le provisoire ne dure pas trop longtemps. Il souligne que le principe de précaution est assorti d'une « *obligation de recherche* » et qu'en fonction des résultats de cette recherche, les mesures prises doivent pouvoir à tout moment être révisées. En particulier « *lorsque le doute est levé : la mesure devient alors une mesure de prévention si le risque est avéré, ou disparaît si le risque est infirmé* ».

Comme l'écrit M.A. Hermitte (2002), le principe de précaution est un principe d'action « *l'idée est toujours la même : il s'agit de tirer la leçon des multiples difficultés sanitaires et environnementales dont les dommages ont commencé à se faire sentir longtemps après l'apparition de leur cause... C'est donc une technique de décision propre à l'action caractéristique de la phase d'incertitude scientifique qui est en train d'être mise au point sous le nom de principe de précaution.* ». Le degré d'incertitude lui-même peut varier en fonction de ce que O. Godart appelle « *la consistance scientifique du risque* », de la simple conjecture à la forte présomption étayée théoriquement et empiriquement (en passant par les stades : hypothèse compatible admise par une minorité de scientifiques, hypothèse jugée plausible par une majorité de scientifiques mais sans étayage empirique fort). On comprend aisément qu'en fonction du degré d'incertitude du risque potentiel (ou du risque associé ou danger potentiel) les décisions puissent être de nature différente et qu'elles soient donc révisables.

Conclusion

Au-delà des différences d'analyses et d'appréciation concernant l'importance juridique et les conditions d'utilisation par les décideurs du principe de précaution, apparaît un consensus sur la nécessité d'une approche rationnelle des risques non avérés à un moment donné de l'évolution technologique (la technologie étant entendue comme « *cadre théorique de la technique* » selon Kourilsky et Viney). Le principe de précaution est un outil intéressant dans ce contexte sous réserve qu'il en soit fait une application raisonnée; ainsi les nombreuses exégèses qui ont été faites de ce principe paraissent converger vers l'exercice de « *la prévention proportionnée* » telle qu'elle est définie par A. Godart.

Bibliographie

- Ahl A.S., Acree J.A., Gipson P.S., McDowell R.M., Miller L. and McElvaine M.D. ~ Standardization of nomenclature for animal health risk analysis. *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.*, 1993, **12**, 1045-1053.
- Anonyme ~ Réflexion sur le droit de la santé. Rapport public du Conseil d'Etat de 1998. Jurisprudence et avis de 1997, Paris, 1998.
- David G. ~ La médecine saisie par le principe de précaution. *Bulletin de l'académie nationale de médecine*, 1988, **182**, 1219-1228.
- Gailing M.O. et Collart-Dutilleul F. ~ Rapport et avis du Conseil national de l'alimentation sur le principe de précaution et la responsabilité dans le domaine alimentaire, 2001, 36 pages.
- Godart O, Henry C., Lagadec P. et Michel-Kerjan E., *Traité des nouveaux risques*, Gallimard, Coll « Folio ») Actuel , 2002, 620 p.
- Hermitte M.A. et Godart O.2004 Le principe de précaution comme norme collective : de quoi s'agit-il, cycle « où en est-on avec le principe de précaution ? », Cité des sciences, Séminaire 14/01/2004 (www.cite-sciences.fr)
- Kourilsky P. et Viney G. ~ Le principe de précaution : rapport au premier ministre, pp. 405. La documentation française, 2000, Paris.
- Lepage C. ~ Que faut-il entendre par principe de précaution ? *Gazette du palais*, 8 et 9 octobre 1999, 7-11.
- Soyeux Y. ~ La place du principe de précaution dans le droit de l'alimentation. *Bulletin de l'académie vétérinaire de France*, 1996, **69**, 25-40.

APRES LES CRISES SANITAIRES, L'INDUSTRIE DE LA VIANDE RELEVÉ LES DEFIS DE DEMAIN. LE TEMOIGNAGE DE SOCOPA

MARIETTE M.

Directeur des études économiques, Groupe SOCOPA.

Traçabilité et étiquetage : les réponses à la première crise de l'ESB.

La première crise ESB de mars 1996 a fait prendre conscience au consommateur que le terme générique boeuf ou viande bovine recouvrait en fait plusieurs produits, des modes d'élevage différents et des origines diverses. La réponse apportée alors par les différents maillons de la filière, la traçabilité, a correspondu à une attente forte des consommateurs.

Pour nos entreprises, l'enjeu était double :

- sécurité sanitaire : l'objectif est de permettre le retrait rapide et ciblé des produits susceptibles de présenter des risques pour la consommation humaine. Il est désormais possible, en cas de problème détecté sur un produit, de retrouver tous les animaux dont la matière première est entrée dans la fabrication de ce produit, et inversement, en cas de problème sur un animal d'identifier en aval tous les produits contenant la matière première issue de cet animal : c'est la traçabilité montante et descendante.
- information du consommateur : il s'agit, à travers l'étiquetage du produit, d'apporter un certain nombre d'informations au consommateur sur l'origine, les races, la catégorie, et éventuellement le mode d'élevage ou d'alimentation, et de mettre en avant les différentes segmentations dans lesquelles le groupe est impliqué, par exemple les signes officiels de qualité (tels que bio, label, CCP) et d'autres marques.

A SOCOPA, la traçabilité est désormais un outil au service de la stratégie industrielle et commerciale. Outre un dialogue plus efficace avec nos interlocuteurs (clients, fournisseurs, administration, organismes certificateurs, contrôle qualité), nous valorisons auprès de nos clients les efforts et les investissements que nous faisons dans ce domaine depuis plusieurs années. Une fonction traçabilité existe aujourd'hui dans l'entreprise, qui n'est pas occupée par un informaticien mais par une personne connaissant la production.

Ainsi, vécue au départ comme une contrainte, la traçabilité est devenue aujourd'hui un atout commercial stratégique pour notre activité.

Mais la traçabilité n'est pas synonyme de qualité.

Ces démarches de traçabilité, si elles ont permis de manière évidente de réassurer le consommateur se sont assez vite révélées insuffisantes pour stopper la baisse structurelle de consommation de viande bovine par habitant, celle-ci ayant diminué de près de 1% par an au cours des 20 dernières années. Il était temps d'aller plus loin et de sortir de l'équation « traçabilité = qualité ».

En effet, les exigences des consommateurs en matière de qualité organoleptique (goût, tendreté), de modernité des produits et de praticité d'emploi sont rapidement revenues sur le devant de la scène.

Parallèlement, l'accroissement des exigences sanitaires, la difficulté de recrutement de professionnels de la boucherie et la spécialisation des métiers ont conduit les distributeurs à reporter sur leurs fournisseurs industriels la plus grande part du travail d'élaboration de la viande.

Une logique s'impose : "l'industriel transforme, le distributeur commercialise". Ainsi s'explique le fort développement dans les 5 dernières années des "Unités de Vente Consommateurs Industrielles" (UVCI).

Le Groupe SOCOPA a saisi cette opportunité pour accroître ses fabrications de produits à plus forte valeur ajoutée en développant une gamme de produits UVCI frais, surgelés et cuits de près de 250 références, incluant le bœuf, le veau, le porc et l'agneau. Ce développement a été appuyé par une stratégie marketing nouvelle, avec le lancement en novembre 2001 de la marque VALTERO.

L'évolution du Groupe, en phase avec son marché, se caractérise ainsi par une stabilisation (à périmètre constant) voire une légère diminution de son activité globale, exprimée en tonnes équivalent carcasse (TEC).

Mais alors que les ventes de produits bruts et semi-bruts (carcasses, découpes primaires, muscles) sont en régression, les ventes de produits élaborés constituent l'axe stratégique majeur de développement du Groupe, et de consolidation de ses performances financières.

Ainsi, en 2003, près de la moitié des ventes du Groupe (calculées en TEC) en France dans les créneaux BCA (Boucherie Charcuterie Artisanale), GMS (Grandes et Moyennes Surfaces) et RHD (Restauration Hors Domicile), l'ont été sous forme d'UVCI, contre environ un tiers il y a quatre ans. Et les perspectives de croissance sont importantes si l'on en juge par la part qu'elles représentent dans certains pays : 35 à 40% de la viande de boeuf consommée en France, contre plus de 85% en Grande Bretagne et aux Pays Bas, et seulement 10% en Allemagne.

Le développement des UVCI accélère le mouvement de spécialisation des outils.

Les lignes de conditionnement et d'étiquetage nécessitent des mètres carrés et des moyens financiers. Leur optimisation impose de les concentrer sur quelques sites, bien positionnés notamment par rapport aux grandes zones de consommation (en particulier pour les produits ultra frais).

C'est la raison pour laquelle plusieurs grands groupes industriels de la viande ont développé dans les dix dernières années des sites dédiés aux UVCI, déconnectés de la fonction abattage-désossage, et situés dans des régions à forte densité de population, éloignées des grandes zones de productions animales (quart sud-est de la France en particulier).

De même, dans les outils plus anciens où co-existent les trois fonctions abattage-désossage et fabrication de produits élaborés (appelées aussi 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} transformation), la tendance est à la clarification du positionnement :

- développement de la 3^{ème} transformation au détriment de la fonction désossage, partiellement transférée sur des sites plus "amont".

- ou à l'inverse, renforcement sur le métier de base, abattage-désossage. Ainsi, de tels outils, lorsqu'ils sont intégrés à un groupe industriel diversifié, ne sont pas les "victimes de l'UVCI", mais récupèrent à travers le désossage une partie de la valeur ajoutée "abandonnée" par les sites industriels.

Gestion de l'équilibre matière : la contrepartie de la valeur ajoutée.

Pour les industriels de la viande, ces opportunités ne sont toutefois pas sans contraintes. En effet, la grande distribution, en substituant de plus en plus ses achats de produits bruts (quartiers, découpes et muscles sous vide) par des UVCI (viandes pièces et autres produits élaborés) a transféré sur ses fournisseurs la responsabilité de l'équilibre matière d'une carcasse. Si les viandes hachées ont déjà depuis longtemps permis de valoriser des muscles du quartier AVT (ex : collier – épaule – capa.) et des affranchis de muscles de l'Arrière, il a fallu trouver plus récemment des solutions pour valoriser à travers des produits élaborés certains muscles de la cuisse, en excédent : c'est le cas en particulier du tendon de tranche (TT) ou de la tranche grasse (TG) utilisés dans les produits marinés.

Il apparaît ainsi clairement que seule une gamme relativement large permet de réaliser cet équilibre matière. Les variations saisonnières de la consommation ayant conduit les entreprises à décliner plusieurs gammes : été, hiver, 4 saisons etc ..., c'est à l'intérieur de chacune d'entre elles que doit s'effectuer cette recherche d'équilibre matière. Le métier de l'industriel est devenu plus que jamais un métier de tri / démontage / assemblage, impliquant tous les produits et tous les circuits commerciaux.

Par ailleurs, concernant la matière, il faut rappeler le travail fondamental réalisé par les entreprises dans les domaines des process, des technologies ou de l'organisation etc..., largement lié aux différentes réglementations imposées depuis les crises : retrait des MRS, tests de dépistage de l'ESB, gestion des déchets et des effluents.

Les viandes de boucherie entrent dans l'ère du marketing.

Le développement des UVCI s'accompagne d'un changement majeur de la communication. Le secteur des viandes de boucherie est en train de basculer, avec retard par rapport à d'autres filières, dans l'ère du marketing industriel. Parallèlement au discours du technicien, voire du zootechnicien vantant la race, la catégorie et le poids, sont en train de se développer des messages de plaisir, modernité et praticité, beaucoup plus accessibles au consommateur, et répondant à ses préoccupations.

C'est au lendemain de la 2^{ème} crise de l'ESB (mais la réflexion était engagée depuis 2 ans) que SOCOPA a lancé la marque VALTERO. Le Groupe a voulu ainsi exploiter deux atouts majeurs, sa maîtrise industrielle, reconnue par la distribution, et sa large gamme de produits élaborés, résultat d'une longue politique de recherche et d'innovation. Mais à côté de ça, subsistait aussi un handicap : SOCOPA était peu connu du consommateur. D'où la décision de créer une marque nationale forte, pour concrétiser l'engagement du Groupe auprès du consommateur. VALTERO est ainsi en train d'installer sa notoriété dans un marché jusque là faiblement marqué.

VALTERO a choisi de se positionner comme la marque de toute la famille au foyer, qui apporte sécurité, créativité, praticité, modernité : la largeur de la gamme permet de répondre aux différentes situations de consommation. Et à l'intérieur de l'entreprise, VALTERO a renouvelé une dynamique, qui fédère le personnel et les actionnaires.

Des efforts largement pénalisés par l'inflation des coûts et des taxes.

Un chiffrage, réalisé en 2001 par le SNIV et la FNCBV, des surcoûts et moins-values engendrés dans la filière bovine par les réglementations sanitaires consécutives à l'ESB aboutissait à un montant de 0,75 €/kg (4,93 F/kg) de viande nette, soit 5 à 10 % du prix de vente consommateur.

Depuis cette date, d'autres charges se sont ajoutées (ex : destruction des effluents solides des abattoirs de ruminants, ou des masques de bovins ...), mais surtout deux mesures lourdes de conséquences financières sont venues pénaliser le maillon abattage-découpe depuis le 01-01-2004 :

- la suppression des aides MIEFA (Mission d'Elimination des Farines Animales), reportant sur les abattoirs l'intégralité du financement de l'enlèvement et de la destruction des sous-produits dits « bas risque ».
- la réforme du financement du SPE (Service Public de l'Equarrissage), se traduisant par l'instauration d'une taxe d'abattage, supportée par les abattoirs. En viande bovine, cette charge représente un montant de près de 0,10 €/kg carcasse, soit une hausse moyenne de 50% du coût d'abattage. Ce montant est significativement plus élevé que le coût économique réel de l'équarrissage supporté par nos concurrents européens. Cette taxe constitue un nouveau motif de hausse du prix de la viande au détail, et crée un véritable appel d'air aux viandes d'importation.

En conclusion, l'avenir des entreprises dépend largement de la capacité de réduire les handicaps de compétitivité.

Depuis l'apparition de la première crise de l'ESB en 96, au delà de la sécurisation des produits, permise grâce au respect de mesures strictes de gestion et d'élimination des déchets (hauts risques et bas risques), les industriels français de la viande ont su relever de nombreux autres défis : la traçabilité, la segmentation qualité, la gestion de l'équilibre matière, les gammes d'UVCI, les marques industrielles et la communication auprès du consommateur.

Mais d'autres incertitudes demeurent :

- Dans un marché international de plus en plus concurrentiel, les entreprises ne pourront continuer de se développer que si elles restent compétitives : le démantèlement de la sur-réglementation et la réduction des distorsions de concurrence intra européennes sont plus que jamais d'actualité.
- Quelles seront les conséquences de la réforme de la PAC sur les productions animales et donc sur l'approvisionnement des abattoirs et outils de transformation ? De nouvelles adaptations seront nécessaires.

Communications orales

Session 3

L'EQUILIBRE CARCASSE DANS LA FILIERE VIANDE BOVINE FRANCAISE : STRATEGIES ET ENJEUX

MALOYER-DEVEZE C.¹, JULLIEN M.², CAMARET D.², LOSSOUARN J.³

¹Ingénieur élève INA PG (aujourd'hui à FCD), ²UNIGRAINS, ³INA PG (DSA, SADAPT)

Dans la filière viande bovine, les récentes évolutions liées à l'ESB affectent la valorisation des différents morceaux issus de la découpe des carcasses. Cette note s'attache à articuler les différents aspects de la question, ci après désignée par commodité "l'équilibre carcasse", et à identifier quelques enjeux majeurs qui en résultent.

L'évolution de la consommation de viande bovine en France se caractérisait par une lente érosion des quantités individuelles consommées, depuis le tournant des années 1980. Depuis 1984, où elle atteignait 32.1 Kg ec/h/an (bœuf + veau), la réduction de consommation est de l'ordre de 20% ; dans le même temps, la consommation toutes viandes *per capita* s'accroissait d'environ 6% (Ofival). Il s'agissait donc d'une perte structurelle de part de marché de la viande bovine.

Matériaux et méthodes

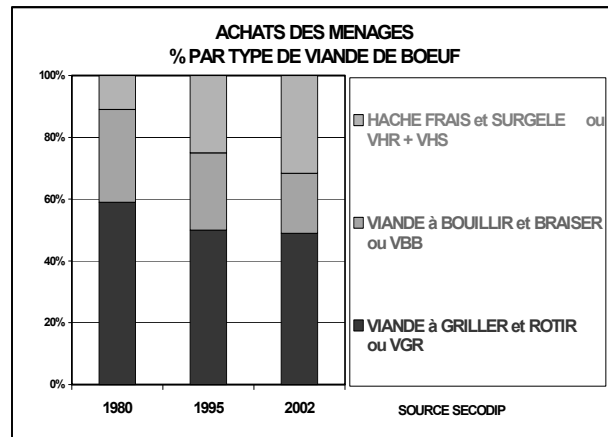
Nous envisageons exclusivement la viande de gros bovins ("viande de bœuf", classiquement), dont l'équilibre de la valorisation des différents morceaux évolue, et en prenant en compte l'importance relative des circuits de distribution et des lieux de consommation.

L'équilibre carcasse de la période récente

En 1999 et 2002, (deux années "normales" encadrant la 2^{ème} crise de l'ESB), la consommation en équivalent-carcasse (ec) estimée par l'Ofival se décompose ainsi : 68% dans les ménages, 23% dans la RHD (restauration hors domicile), et 9% via la transformation (plats cuisinés, notamment). La part des ménages se décompose à son tour en 53% (de la consommation totale) distribués par les GMS, et 15% par les circuits spécialisés (bouchers, principalement), décomposition issue du panel Sécodip-Ménages (viande fraîche et surgelée, avec gros achats, hors abats).

Les différents morceaux issus de la découpe sont très inégalement demandés par les consommateurs en France, d'où les problèmes d'équilibre carcasse. Selon le panel Secodip, concernant les achats des ménages en bœuf frais et surgelé (hors gros achats, hors abats), l'évolution est la suivante :

Ces dernières années, on voit apparaître en plus les produits élaborés, qui représentent environ 2% en 2002. Ainsi, la part des achats des ménages en VGR et VBB exprime une tendance à la réduction, tendance qui est plus ancienne en VBB. Quant à l'ensemble VHR + VHS, son accroissement a longtemps compensé la baisse des VBB. En réalité, ces chiffres annuels ne révèlent pas que le déséquilibre est avant tout saisonnier. Selon Sécodip, on constate une augmentation de la demande en VGR en été (grillades), des pics de consommation des VBB en hiver (quasi pas consommées en été), et un accroissement de consommation de VHR à partir de septembre (rentrée des classes).



La RHD (restauration hors domicile) ne contribue pas à corriger ces déséquilibres saisonniers des achats des ménages. D'après les travaux du GEB, les 295 000 tec qu'elle a utilisées en 2002 se décomposent en 45% de VH, 40% de VGR, 15% de VBB et on sait qu'elles suivent les mêmes variations saisonnières que les ménages. Ces phénomènes saisonniers imposent une gestion saisonnalisée de la matière par les acteurs de la filière.

A coté de ces « déséquilibres carcasse », notons au passage un autre déséquilibre, l'utilisation massive de viande provenant de femelles : 80% des EC consommés en 2002, pour 10% fournis par les taurillons et 10% par les bœufs, selon le GEB. Ce second déséquilibre trouve son origine dans la réponse des distributeurs à d'autres caractéristiques de la demande française (couleur, prix, tendreté) et il ne sera pas analysé ici.

Autrement dit, la consommation française de viande de gros bovins apparaît très décalée par rapport à l'offre nationale : recherche accrue de VGR au détriment des VBB (d'où le déséquilibre classique avants / arrières, et celui plus récent cuisses / aloyaux), et variations saisonnières. La filière régule ce déséquilibre carcasse, notamment par le hachage et par un recours indispensable au commerce extérieur. Nous allons examiner ce fonctionnement par rapport à ces contraintes dans la période

récente marquée par l'ESB, tenter d'apercevoir les liens avec les stratégies d'acteurs, puis chercher à en dégager quelques enjeux majeurs.

L'impact des crises ESB de 1996 et 2000

Les stratégies des acteurs ont été très affectées par les deux crises de l'ESB. La relative "renationalisation" des achats des ménages, conséquence de la traçabilité apparue en 1997, a rendu plus difficile l'équilibre carcasse, les industriels ayant supprimé en 97 les arrières de vaches de réforme d'importation destinées aux ménages. La seconde crise a entraîné une suspicion majeure sur la VH industrielle (chute de consommation atteignant momentanément 70%), qui a été combattue par la mise en œuvre de "bonnes pratiques industrielles", dont le "100% muscles". La tendance à l'abandon des VBB, qui préexistait aux crises ESB, a été renforcée par la méfiance vis à vis des viandes avec os. L'obligation de retrait de la colonne vertébrale s'est avérée complexe de mise en œuvre chez les bouchers détaillants, incitant beaucoup d'entre eux à basculer sur les achats de quartiers découpés (compensé), complété par du catégoriel, donc à recourir aux services des industriels. D'autre part, l'obligation de traçabilité, ajoutée à la législation sur les 35 H et au manque de bouchers qualifiés ont aussi incité les GMS à s'approvisionner en produits plus élaborés.

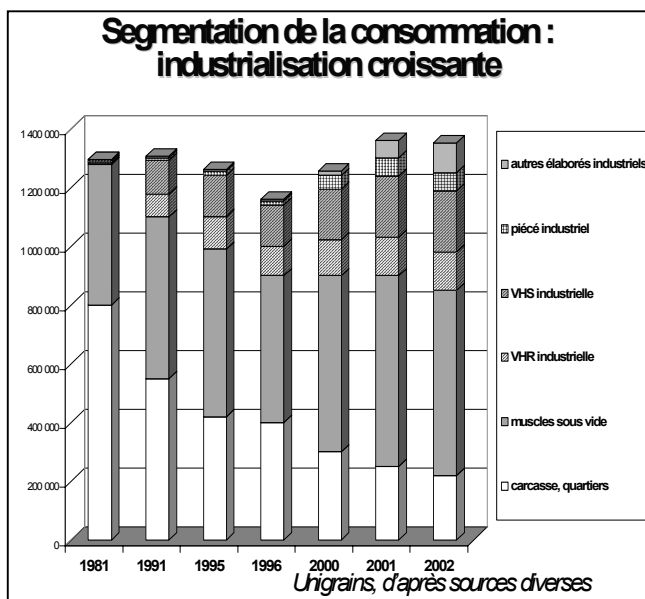
Au final, certaines opérations techniques, déjà progressivement abandonnées par les bouchers détaillants ou les GMS, sont remontées plus rapidement vers les industriels, d'où le développement fort de la découpe industrielle, et surtout de la production d'UVCI (unités de vente consommateur industrielles) :

- + 21% de 1995 à 2000,

- + 28% de 2000 à 2001 (SNIV).

En 2001, elles représenteraient 317 000 t de produits, soit 550 000 tec, ou encore environ 37% de la consommation bœuf + veau.

Les UVCI comprennent les VH industrielles, les pièces, et les produits élaborés (brochettes, carpaccios, marinés, poêlés...). Elles constituent actuellement le front majeur de l'innovation dans la filière (allongements de DLC, VH "gros grains", marketing sur emballage, segmentation...).



Les traditionnels excédents d'avants, qui ne trouvent que la VH pour s'écouler, tirent le prix moyen des avant à la baisse, ce qui, par ricochet, oblige la hausse du prix des arrières, mais surtout pèse sur le prix carcasse, y compris pour les carcasses les plus conformées. La matière 1^{ère} la moins chère, celle des vaches laitières, est préférée pour les UVCI à haute valeur ajoutée et difficiles à valoriser, mais indispensables dans les gammes. Ces gammes d'UVCI seraient aussi le moyen de valoriser autrement des morceaux peu ou pas tendres.

Conclusion

Au terme de notre examen, il apparaît que l'équilibre carcasse dans la filière française demeure le cœur du problème des industriels, que les crises ESB l'ont compliqué, et que les stratégies industrielles traduisant ses nouvelles formes portent des enjeux très importants. Nous retiendrons trois interrogations majeures :

- . Le degré de "nationalisation" du marché est forcément appelé à reculer, tant à partir d'approvisionnements communautaires que des pays tiers. Selon son ampleur, ce changement prévisible pourra apporter un risque de concurrence par des pièces nobles très compétitives provenant d'Amérique du sud. L'inflation récente du bœuf au détail, qui est liée à l'ESB, constitue un facteur de cette ré-ouverture à l'international.

- . Le troupeau allaitant n'a pas été favorisé par certaines nouvelles tendances issues des crises ESB, notamment la découpe industrielle, l'UVCI et la croissance des VH. Certes les dispositions définitives découlant de la réforme de la PAC joueront aussi sur son destin.

- . Les industries de la viande ont opté pour la stratégie UVCI, notamment sous l'influence des distributeurs. Mais, y aura-t-il de la place pour les entreprises moyennes du secteur ? Verra-t-on émerger des industriels spécialistes des UVCI, opportunistes quant à leur approvisionnement ?

Bibliographie

Halliez P. (AG du SNIV 2003), GEB, UNIGRAINS, OFIVAL.

LES CONSEQUENCES DE L'ESB SUR LA HAUSSE DES PRIX DE DETAIL DE LA VIANDE DE BŒUF

MAINSANT P.

INRA - ESR - LORIA 65 bd de Brandebourg 94205 Ivry sur seine

Introduction

Depuis la 1^{ère} crise ESB de 96, on peut constater en France à propos de la viande de boeuf une baisse des prix à la production et une hausse des prix de détail. Cette divergence révèle une hausse de la marge brute en aval de la production. On se doute que cette hausse vient pour partie des conséquences des 2 crises ESB. On peut classer ces conséquences en 2 types, les frais de prévention de l'épidémie, dont l'essentiel est pris en charge par les pouvoirs publics, et les adaptations sanitaires et commerciales prises en charge par les abatteurs et les distributeurs. Seuls ces dernières ont vocation à être répercutées dans les prix de détail. L'objectif est ici de mesurer la part de ces conséquences de l'ESB dans la hausse récente des prix de détail de la viande de bœuf.

On observe 2 types d'adaptations dans l'aval de la filière bœuf : d'une part des nouveaux coûts (traçabilité, taxe d'équarrissage dédiée aux traitements des matériaux à risques, coûts sur les matériaux à bas risque, tests en abattoirs, surcoût du haché 100% muscle) et d'autre part des pertes de valeur commerciale sur certains produits du 5^{ème} quartier (pour alimentation animale et consommation humaine). Comme les nouveaux coûts, ces pertes de valeur provoquent aussi une hausse compensatrice des prix de la viande. D'où l'idée d'approcher l'impact global de toutes ces adaptations sur les prix de détail de la viande, à partir de la hausse de la marge brute aval sur la viande, puis de faire la part de l'ESB dans cette hausse.

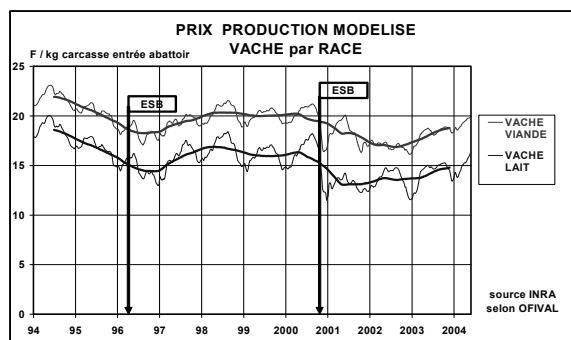
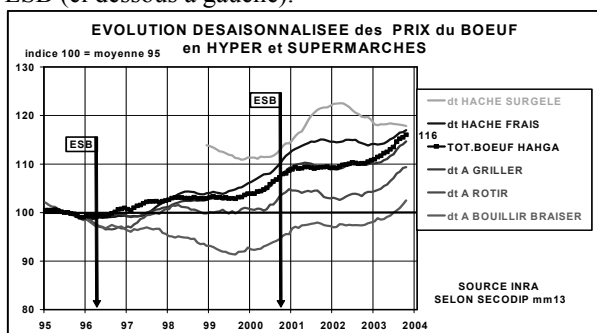
Matériaux et méthodes

Nous avons défini la marge brute aval sur la viande par la différence de valeur entre une carcasse entière à la production (entrée abattoir) et une carcasse reconstituée au stade du détail, hors abats. Nous l'avons modélisé sur la période 1996-2004 et sur le circuit dominant, celui des GMS (distribution moderne). Le fait que, en France, ce circuit est approvisionné presque exclusivement par la production française rend cette démarche possible. Concernant les prix de détail, nous avons choisi d'observer les prix désaisonnalisés du panel SECODIP MENAGES, seule source française qui observe les prix réels des achats des ménages en tenant compte des promotions. Pour pouvoir comparer les prix de détail de la viande avec les prix à la production dans la même unité de mesure, nous avons transformé les prix de détail par kg vendu en prix par kg carcasse reconstituée, reconstitution basée sur une structure fixe des rubriques SECODIP. Nous avons choisi de modéliser deux types de vaches très présentes en GMS, une « lait » et une « viande ». Les données sont en francs courants.

Résultats

1/ Les prix de détail de la viande de bœuf en GMS subissent une forte hausse de 95 à 2003.

Sur cette période, les viandes à griller et rôtir et les hachés frais et surgelés expriment une hausse nette, de l'ordre de 15 % en moyenne pondérée (2003/95), alors que les viandes à braiser et bouillir n'expriment pas de hausse significative. On peut distinguer 2 périodes, une hausse légère en 97 après la 1^{ère} crise ESB, et une hausse forte en 2001 après la seconde crise ESB (ci dessous à gauche).

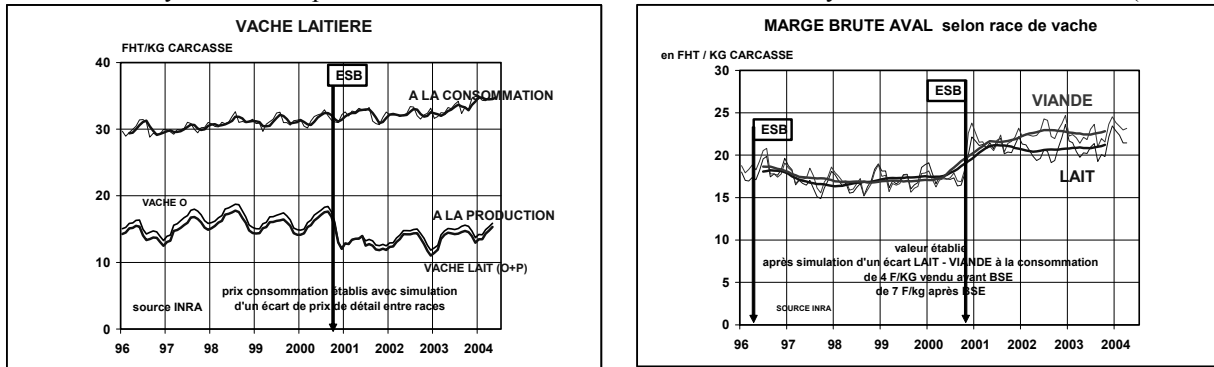


2/ Les prix du bœuf à la production ont connu une nette baisse de 95 à 2003.

Nous avons modélisé 2 cotations « entrée abattoir » représentatives, l'une pour la vache de réforme laitière, l'autre pour la vache de réforme de race à viande (ci dessus à droite). Pendant toute cette période, la PAC a installé des « primes » qui avaient vocation à faire baisser les prix à la production. Les 2 crises ESB se sont inscrites dans ce mouvement. En 96, 1^{ère} crise ESB, ces valeurs ont subi une baisse faible et passagère, mais par contre après la crise de 2000, elles ont subi une nouvelle baisse forte et prolongée. En début 2004, ces valeurs se redressent mais sont encore inférieures aux niveaux de 94-95. Globalement les prix à la production ont sensiblement baissé de 95 à 2003 (moy 2003 / moy 95 = - 17 %).

3/ la marge brute aval sur la viande a subit une forte hausse en 2001.

Pour chaque type de vache, par la soustraction des 2 valeurs, « détail viande en GMS » et « production », toutes deux exprimées dans une unité homogène (F/kg carcasse) (ci dessous à gauche pour la vache laitière), on produit un estimateur de la marge brute aval « industrie + GMS » dont on observe l'évolution de 96 à 2004 (ci dessous à droite pour les vaches de chaque race). On constate qu'ils restent assez stables pendant la période 96-2000, qu'ils augmentent assez brutalement en 2001, et qu'ils restent ensuite stables à ce nouveau niveau. Cette hausse brusque de 2001 serait de l'ordre de 4 F/kg carcasse en moyenne. Elle représenterait 12 % environ de la valeur finale moyenne de la viande au détail (hors abats).



Interprétation de la hausse observée de cette marge brute aval modélisée.

Par hypothèse, ce mouvement brusque de hausse de la marge brute aval en 2001 peut avoir 4 origines : hausse des anciens coûts (main d'œuvre, énergie, amortissement, etc.), apparition des nouveaux coûts liés à l'ESB, compensation des pertes de valeur sur 5^{ème} quartier et hausse des marges nettes des opérateurs :

- La hausse brusque des « anciens » coûts n'est pas vraisemblable. Certes le prix de la main d'œuvre aurait pu progresser à cette époque (35 heures), mais son impact aurait été lissé et atténué par les progrès de productivité.
- L'observatoire OFIVAL sur les industriels abatteurs-découpeurs ne repère aucune évolution significative de leurs marges nettes sur toute la période 96-2003.
- Par contre, l'observatoire OFIVAL des rayons boucherie des Hypermarchés a repéré une hausse de la « marge semi-nette » à partir de 2001 (marge semi-nette = marge brute – coûts directs). Cette hausse, qui est d'ailleurs contestée, ne pourrait expliquer qu'une petite partie de la hausse observée de la marge brute aval. Sur les années 2002 et 2003, selon ce modèle Ofival, cette hausse du semi-net aurait représenté en moyenne 3 % du CA, mais cette valeur ne constitue qu'une indication fragile et délicate à interpréter, car cette marge semi-nette a vocation à couvrir aussi des frais généraux liés à l'ESB, tels que les frais de traçabilité et de segmentation.

Conclusion

La hausse de la marge brute aval en 2001 s'élèverait à environ 4 F/kg carcasse (ou 0,6 E/kg) et représenterait 12 % de la valeur moyenne de la viande de bœuf au détail en GMS. Elle se serait installée assez brutalement en 2001. Par déduction, elle serait essentiellement due aux conséquences de l'ESB (nouveaux coûts et compensations des pertes de valeur). Accessoirement elle pourrait venir aussi d'une partie de l'éventuelle hausse de la marge ½ nette en GMS qui serait aussi apparue en 2001 et d'une légère hausse des anciens coûts.

Tout compte fait, **l'impact des conséquences de l'ESB serait de l'ordre de 9 à 10 % sur les prix de détail de la viande de bœuf en 2003.** Extrapolé à l'ensemble de la consommation française de boeuf, cela représenterait une facture de l'ordre de 600 à 700 millions d'Euros/an pour les consommateurs de viande de bœuf depuis 2001. Pour globaliser l'ensemble des coûts liés à l'ESB, et seulement pour le bœuf, il conviendrait d'ajouter à ces 4 F/kg carcasse les frais de prévention de l'ESB qui ont été pris en charge par les pouvoirs publics (épidémiologie-surveillance, élimination des troupeaux atteints), soit 130 millions d'Euros/an selon le Ministère de l'agriculture.

Bibliographie

- Guesdon JC & Co, Dossier économie de l'élevage n° 307, nov 2001, Viande bovine - coûts de contraintes réglementaires européennes, 20p.
- Mainsant P., Communication à l'Observatoire des prix et des marges en viande bovine du 08 06 2004, Actualisation du modèle INRA de marge aval au 1^{er} trimestre 2004, Ofival. Confidentiel.
- Lebois S., Communication à l'Observatoire des prix et des marges du 08 06 2004, Actualisation du modèle Ofival de marge du rayon boucherie au 1^{er} trimestre 2004, Ofival. Confidentiel.
- Legrain C & Co., communication à l'observatoire des prix et des marges en viande bovine du 08 06 2004, résultats comptables de l'échantillon Ofival d'entreprises bovines, Ofival.
- Site ESB du ministère de l'agriculture, 2004, rapport « coûts des mesures de lutte contre l'ESB en France ».

LA PLACE DE LA VIANDE BOVINE DANS LE MODÈLE ALIMENTAIRE FRANÇAIS : BILAN ET PERSPECTIVES

RAUDE J.

¹ EHESS, Centre d'études transdisciplinaires, 22 rue d'Athènes, 75009 Paris

Introduction

Depuis le milieu des années 90 qui se caractérise notamment par le développement en Europe de la première crise dite de « la vache folle », l'industrie agroalimentaire – et la filière bovine en particulier – a été confrontée à une succession impressionnante de crises sanitaires plus ou moins graves. En France, ce mouvement a connu sans aucun doute son paroxysme avec la seconde crise de « la vache folle » survenue à l'automne 2000. Ces crises interviennent par ailleurs dans un contexte de baisse tendancielle de la consommation de produits carnés. Il apparaît en effet que le volume de la consommation totale de viande par habitant baisse régulièrement depuis 1990 (Combris, 1996). Malgré les efforts de la filière, les données actuelles laissent à penser que leur consommation ne reviendra pas à son niveau antérieur à la crise. C'est donc bien dans un contexte post-crisis que s'inscrivent aujourd'hui l'offre et la demande de viande bovine.

L'objectif de cette étude est de caractériser plus précisément – à la suite de ces crises majeures – les perceptions et le comportement des consommateurs français à l'égard de la viande bovine. Au-delà de la dynamique de changement observée dans les préférences alimentaires au tournant des années 90, les turbulences récentes nous amènent à poser un certain nombre de questions sur sa place actuelle dans le modèle alimentaire français. Quelle est aujourd'hui la distribution réelle de la consommation de viande bovine en France et comment évolue-t-elle ? Quelle est la structure sociologique de la consommation de viande bovine ? Quelle est la structure de la perception des risques liés à sa consommation ? De nombreuses études ont en effet mis en évidence une relation statistique entre les changements dans la perception des risques – aux premiers rangs desquels les risques liés aux maladies animales transmissibles à l'homme telles que l'ESB, et les changements intervenus dans la consommation de viandes et de produits carnés (Burton et col., 1999 ; Hyun & Won, 2003 ; Weitkunat et col., 2003).

Matériel et méthodes

Les résultats de cette étude sont fondés sur les données collectées par le CRÉDOC dans le cadre des enquêtes INCA 1999 et CCAF 2004. L'enquête Individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires (INCA) a été réalisée entre les mois d'août 1998 et de juin 1999, et l'enquête sur les Comportements et les Consommations Alimentaires des Français (CCAF) entre les mois d'octobre 2002 et juillet 2003 à la demande de différents groupes institutionnels et privés. Au total, 3003 personnes ont été interrogées sur leurs consommations individuelles dans le cadre de l'enquête INCA et 2978 dans le cadre de CCAF. Le recrutement des échantillons adultes a été assuré par stratification (région géographique et taille d'agglomération) et par la méthode des quotas (âge, sexe, profession et catégorie socioprofessionnelle individuelle et taille du ménage).

Par ailleurs, le relevé des consommations alimentaires a été effectué par les enquêtés sur une période de 7 jours consécutifs, à l'aide d'un carnet de consommation, l'identification des aliments et des portions étant facilitée par l'utilisation d'un cahier photographique. Les résultats présentés dans cette étude reposent donc sur les relevés d'un échantillon de 1 474 individus adultes normo-évaluants dans INCA et 1361 dans CCAF.

Résultats

Sociologie de la consommation de viande bovine

Dans l'enquête INCA, la consommation moyenne de viande bovine par personne s'élève à 36,4 grammes par jour – soit l'équivalent de moins de deux steaks hachés par semaine. Dans l'enquête CCAF, la consommation moyenne de viandes bovines n'est plus que de 33,5 grammes par jour et par personne, ce qui correspond à une baisse de 5 à 10 % par rapport à l'enquête INCA.

Il existe toutefois une grande variabilité socio-démographique dans la consommation de viande bovine. Dans l'enquête INCA, parmi les différentes variables socio-démographiques étudiées, seuls le sexe, l'âge et la catégorie socioprofessionnelle sont apparus très significativement associés à l'alimentation carnée (Test de Fisher, $p < 0,001$). **Le sexe** : il existe apparemment des différences considérables dans la distribution sexuelle de la consommation de produits carnés. Les hommes mangent en moyenne une quantité de viandes supérieure d'environ un tiers (36 %) à celle des femmes (39 g/jour contre 30 g/jour). Cependant, les différences sexuelles ne portent que sur le volume de consommation des différents types de viandes. Curieusement, la structure de la consommation de produits carnés en proportion est en effet quasi identique pour les deux sexes. **L'âge** : l'âge a un effet non-linéaire sur la consommation de viande bovine : la ration moyenne quotidienne croît régulièrement avec l'âge, puis elle diminue sensiblement à partir de 65 ans (24 g/jour en moyenne). Structurellement, les personnes âgées se distinguent également en ce qu'elles consomment moins de porc et de bœuf, mais plus de veau. De leur côté, les plus jeunes (15-24 ans) tendent à favoriser la consommation de bœuf qui

constitue près de 25 % de leur ration moyenne quotidienne de produits carnés (contre seulement 19 % pour l'ensemble de l'échantillon). **La profession** : deux catégories socioprofessionnelles se distinguent nettement dans l'échantillon INCA par consommation plus élevée de viandes bovines. Il s'agit des personnes appartenant à des ménages dont le chef famille est ouvrier ou agriculteur. Dans les familles d'agriculteurs (n= 36), la consommation moyenne de produits carnés s'élève à près de 42 grammes par jour, soit une quantité supérieure d'environ un tiers par rapport à l'ensemble de la population. C'est également le cas des familles d'ouvriers (n=330), où elle se situe à environ 41 grammes par jour. Les autres catégories socioprofessionnelles font apparaître un niveau de consommation de produits carnés relativement proche qui se situe entre 31 et 36 g/jour.

La perception des risques alimentaires

D'une manière générale, lorsqu'on interroge les sujets adultes – par question ouverte – sur les risques majeurs liés à l'alimentation, les risques nutritionnels dont on pense qu'ils sont liés à la sur-consommation d'aliments riches en matière grasse et cholestérol sont largement identifiés par une grande majorité d'entre eux. Ainsi, le surpoids et l'obésité sont spontanément cités par environ un quart des répondants (INCA : 32 %, CCAF : 25%), les maladies cardio-vasculaires environ un cinquième d'entre eux (INCA : 22 %, CCAF : 21 %). Curieusement, en ces périodes post-crisis, les risques toxique infectieux semblent peu mobiliser l'attention du public. Les données complémentaires obtenues Toutefois par questions fermées à partir de produits à risque dans l'enquête CCAF tendent à relativiser quelque peu ces résultats : environ un quart (25%) des répondants considèrent en effet que la viande, la charcuterie ou les produits à base de bœuf (ravioli, etc.) présentent des risques importants pour la santé loin devant les fromages (11%). Les produits riches en matières grasses ne semblent guère focaliser l'attention des consommateurs. Ce sont donc bien la viande et les produits carnés qui structurent la perception actuelle des risques liés aux pratiques alimentaires.

Discussion

Au cours des trente dernières années, la place symbolique et nutritionnelle de la viande bovine dans le modèle alimentaire français a fait l'objet d'évolutions spectaculaires. Marqueur privilégié du « bien manger » jusqu'à la fin des années 70, la consommation de viande bovine a connu un ralentissement significatif au cours des années 80. La plupart des analyses consacrées à ce phénomène ont mis l'accent sur l'impact des recommandations nutritionnelles et, à travers elles, la promotion de la réduction des matières grasses d'origine animale dans notre alimentation (Combris, 1996). Aujourd'hui, la consommation réelle de viande bovine au sein de la population française apparaît très inférieure aux données de consommation apparente (environ 72 g/j/pers. en 1999 selon la FAO). Dans l'enquête INCA, la consommation quotidienne de viande bovine n'est en moyenne que de 34 g/jour. En outre, il convient de noter à nouveau que le volume moyen de sa consommation (hors plats cuisinés) a sensiblement baissé entre 1999 et 2003 puisqu'il ne s'élève plus qu'à environ 29 grammes par jour et par personne dans l'enquête CCAF.

En France, la consommation de viande rouge ne constitue donc probablement pas le marqueur du déséquilibre alimentaire que l'on stigmatise parfois. Comme nous l'avons indiqué plus haut, les graisses et les viandes sont considérées dans les enquêtes INCA et CCAF comme les produits alimentaires présentant le plus de risque pour la santé. Dans le contexte anxigène qui caractérise cette période et en l'absence de données complémentaires, la perception des risques associés à la consommation de la viande peut paraître difficile à interpréter. Rappelons que les données sur les attitudes et les opinions des enquêtés indiquent clairement que les risques nutritionnels – contrairement aux risques sanitaires – sont spontanément et largement reconnus comme les risques majeurs liés à l'alimentation. La plupart des analyses socio-économiques attribuent le mouvement de baisse de la consommation de viande bovine à un changement profond des préférences alimentaires des consommateurs. En l'absence de données complémentaires, la tentation est grande de ne voir dans les crises sanitaires des années 90 qu'un amplificateur de tendances latentes dans le modèle alimentaire français et de penser que les courbes de consommation de viande auraient probablement peu changé sans les crises récentes. En effet, les études récentes réalisées au Royaume-Uni (Burton et col., 1999) et au Japon (Hyun & Won, 2003) ne confirment pas cette hypothèse. D'une manière générale, leurs résultats tendent plutôt à attribuer aux changements intervenus dans la perception des risques alimentaires liés notamment à l'ESB, une part importante des changements observés dans les comportements alimentaires, et il y a tout lieu de penser que c'est également ce qui s'est produit en France.

Bibliographie

- Burton, M., Young, T., Cromb, R., 1999, Cahiers d'économie et de sociologie rurale, 50, 8-19
Combris P., 1996, INRA sciences sociales, 9(3)
Hyun, J.J., Won, W.K., 2003, European review of agricultural economics, 30(2), 173-192
Weitkunat, R., PottgieBer, C., Meyer, N., Crispin, A., Fisher, R., Schotten, K., Kerr, J., Überla, K., 2003, Journal of Health Psychology, 8(3), 373-381

Remerciements

Cette étude a été réalisée en collaboration avec le Centre d'Information des Viandes dans le cadre d'une convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE). Pour toutes les informations concernant la consommation de viande en France, il est possible de prendre contact avec le CIV, 64 rue de Taitbout, 75009 Paris (civ@civ-viande.org).

CONSEQUENCES DES CRISES DE L'ESB SUR LA SEGMENTATION DE L'OFFRE EN VIANDE BOVINE : EXEMPLES DE STRATEGIES DE LA GRANDE DISTRIBUTION EN ESPAGNE ET EN FRANCE.

SANS P.¹, DE FONTGUYON G.¹, BRIZ J.²

1 Institut National de la Recherche Agronomique – ESR - LORIA – Ivry-sur-Seine (France)

2 Universidad Politécnica de Madrid – E.T.S. Ingenieros Agrónomos – Madrid (Spain)

Introduction

Dans un contexte de crises sanitaires frappant plusieurs pays européens, certains auteurs mettent l'accent sur la dimension « sécurité sanitaire » de la qualité et les moyens à mettre en œuvre pour regagner la confiance des consommateurs (Barrena *et al.*, 2003 ; Kola et Latvala, 2003). L'article analyse comment les crises sanitaires, d'une part poussent les acteurs des filières vers une plus forte segmentation de leur offre en produits frais et peu transformés, d'autre part amènent à un renforcement global de la réglementation. Une attention particulière est portée aux initiatives de distributeurs français implantés à la fois en Espagne et en France.

1. Les crises sanitaires confortent la tendance à la baisse des achats des ménages.

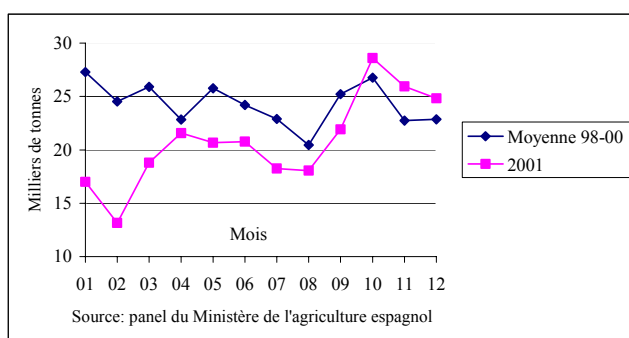
1.1 France – Espagne : des contextes différents.

Trois différences majeures peuvent être relevées :

Comparée à la France, la place de la consommation de viande bovine est singulièrement plus faible en Espagne, où elle n'occupe que la troisième place loin derrière la viande de poulet et la viande fraîche de porc. Les achats des ménages représentent 78% des volumes de viande bovine consommés et ils ont baissé d'environ 1,5% par an entre 1987 et 2000 (Source : Panel de consommation Mapya).

La place du commerce de détail traditionnel dans les ventes de viande de boucherie reste plus forte en Espagne, même si elle suit la même tendance qu'en France : de 1994 à 1999, sa part de marché est ainsi passée de 41 à 38% (Source : panel du Ministère de l'Agriculture espagnol - 2000). En France son score est inférieur à 20% pour 1999.

Enfin, la chronologie et l'impact de la crise de l'ESB diffèrent entre les deux pays : l'Espagne déclare un 1^{er} cas seulement en novembre 2000, ce qui déclenche, à l'instar d'autres pays européens, une crise de confiance et une chute brutale et importante (Figure 1) des achats de viande bovine en 2001 (-18% par rapport à 2000).



L'impact de la crise est cependant limité dans le temps : moins d'un an après l'annonce du 1^{er} cas, les achats retrouvent leur niveau d'avant la crise. La déclaration des premiers cas d'ESB en Espagne n'a pas entraîné un rejet aussi violent et durable que celui des consommateurs français à la même période (2^{ème} crise de l'ESB en France). Trois explications peuvent être avancées : en premier lieu, la consommation de viande bovine en Espagne porte très majoritairement sur des animaux jeunes (*ternera* de moins de 14 mois) qui ne sont pas considérés comme infectants.

Figure 1 : Impact du premier cas d'ESB sur les achats des ménages en viande bovine en Espagne (en milliers de tonnes de produits finis).

Par ailleurs, le déclenchement de la crise est immédiatement suivi par la mise en place de dépistages systématiques sur les animaux de plus de 30 mois (puis 24 mois) ; même si ce dispositif conduit à une forte progression des cas recensés (2 en 2000, 82 en 2001), il rassure les consommateurs sur la viande issue d'animaux plus âgés dans la mesure où la carcasse d'un animal déclaré positif n'entre pas dans la chaîne alimentaire. Enfin, la crise survient en Espagne avec un décalage temporel important par rapport à la France (1996), sur une population largement informée de la question par les médias et pour laquelle la place de la viande bovine dans l'alimentation carnée est moindre qu'en France.

1.2...mais des grands distributeurs communs !

Parallèlement à la croissance rapide du nombre de points de vente depuis le milieu des années 1970, on assiste à une concentration importante du commerce de détail : en 2001, la part de marché des 4 premiers groupes sur le secteur de l'alimentation et de la droguerie est voisine de 50%. Les entreprises françaises de distribution alimentaire sont bien

implantées en Espagne : depuis le rachat du groupe Promodès par Carrefour, ce dernier est devenu le 1^{er} distributeur espagnol avec une part de marché de 21%. Auchan occupe la 4^{ème} place avec une part de marché de 7,5%.

2. Les crises sanitaires comme moteur des initiatives de segmentation de l'offre.

L'évolution de la segmentation de l'offre de viande bovine est relativement semblable dans les deux pays (Fernandez Barcala *et al.*, 2003) : d'un côté, on assiste au développement assez lent d'initiatives de différenciation basée sur l'origine géographique des animaux. Supportées par les professionnels de l'amont des filières, elles s'appuient sur des signes officiels de qualité (Indication Géographique Protégée). De l'autre, des marques sont mises en place par des groupes coopératifs ou des distributeurs : leur implantation est facilitée en Espagne par la structure de la production (séparation géographique et structurelle des ateliers de naissage et d'engraissement). L'intégration d'ateliers d'engraissement (ou la signature de contrats d'approvisionnement) permet une croissance rapide des volumes tout en garantissant une meilleure homogénéité du produit.

A partir de 2001, les principaux distributeurs espagnols utilisent la possibilité de faire figurer des mentions facultatives pour développer des marques certifiées de viande bovine, dont les garanties vont au delà d'une traçabilité complète de l'élevage au point de vente (Tableau 1).

Tableau 1: Les marques certifiées de viande bovine développées en Espagne par des distributeurs français.

Enseigne	Nom de la marque /Année de création	Mentions valorisantes
Carrefour	<i>Calidad Tradición Carrefour</i> (1999 – certifiée en 2001)	Races à viande et leurs croisements Alimentation 100% végétale Abattage et découpe en Espagne
Auchan	<i>Producción Controlada Auchan</i> Marque « <i>Villa del Monte</i> » (Décembre 2001)	Animaux issus de fermes contrôlées par Certicar Alimentation 100% végétale; plan de contrôle renforcé sur les facteurs de croissance et les résidus d'antibiotiques Conditionnement entre 48 et 96h après l'abattage

Dans ce contexte quelque peu différent de celui de la France (de Fontguyon *et al.*, 2003), Carrefour et Auchan ont adopté en Espagne des stratégies similaires ce qui n'a pas été le cas en France (Sans *et al.*, 2004).

Si les schémas organisationnels sont voisins dans les deux pays (construction de marques de distributeurs impliquant l'amont et contrôlées par une tierce partie), les arguments de communication sont différents : l'acuité de la question des résidus de substances interdites en Espagne se traduit par leur prise en compte quasi-systématique dans les plans de contrôle des démarches sous certification¹. Cependant, cette dimension « sécurité sanitaire » est peu exploitée dans la communication des distributeurs espagnols : celle-ci porte davantage sur les attributs positifs comme la qualité gustative, la durabilité des systèmes de production (bien-être animal, respect de l'environnement) et le partenariat avec les fournisseurs (industriels et producteurs). En France en revanche, la sécurité sanitaire constitue le thème prépondérant de certains distributeurs, notamment en période de crise. Au nom du principe de précaution et de la défense de la santé des consommateurs, ils ont fait pression sur les Pouvoirs Publics pour exiger l'application sans délai de mesures générales qu'ils jugent pertinentes. Leurs exigences favorisent l'élévation de la qualité du produit standard, ce qui va obliger ces mêmes distributeurs à rechercher alors d'autres voies de différenciation : les nouveaux attributs apportés au produit seront de plus en plus difficiles à trouver (surtout dans le cas des viandes de gros bovin, à l'inverse des volailles) et difficiles à rémunérer par de nouveaux consentements à payer de la part des consommateurs.

Conclusion

Loin d'être figés, les paysages de l'offre de viande bovine dans les deux pays ont connu des évolutions importantes sous l'effet conjoint d'un renforcement de la réglementation (étiquetage, traçabilité) et des stratégies des acteurs de la filière. Conscient de son rôle d'interface entre des consommateurs inquiets en quête de ré-assurance et les professionnels des filières, la grande distribution a accentué à l'occasion des crises sanitaires son pouvoir de prescription, c'est-à-dire qu'elle a joué un rôle très actif dans la définition des attributs intrinsèques et extrinsèques des produits. Cette stratégie sert de support à la promotion de produits frais peu transformés (et peu marquetés) dont l'image chez les consommateurs reste fortement liée à l'amont agricole.

Références bibliographiques

- Barrena R., Sánchez M., Gil J. M., Gracia A., Rivera L. M., 2003. *Economía agraria y recursos naturales*, 3 (1), 1-24.
 de Fontguyon G., Giraud-Héraud E., Rouached L., Soler L. G., 2003. *Sociologie du travail*, 45, 77-94.
 Fernandez Barcala M., Gonzalez Diaz M. et Arruñada Sanchez B., 2003. *IJARGE*, 2(3/4), 361-382.
 Kola J., Latvala T., 2003. *IAMA - World Food and Agribusiness Symposium and Forum*. Cancun - Mexico, June 21-24.
 Sans P. et de Fontguyon G., 2004. *Proceedings of the 88th EAAE seminar*, Paris, 5-6 may.

¹Cette préoccupation a été à l'origine de la mise en place dès 1996 du programme C.L.A.R.A (Carne Libre de Aditivos, Regulada y Avalada), pionnière en matière de traçabilité et garantissant la non utilisation d'activateurs de croissance. Ce programme ne concernait cependant qu'environ 5% de la consommation de viande bovine espagnole en 1999

Posters

Session 3

EFFETS DE L'ACQUISITION DE L'AOC DANS LA RESTAURATION DE LA CONFIANCE DES CONSOMMATEURS VIS À VIS DE LA FILIERE BOVINE : LE CAS DE LA MAINE ANJOU.

LEUSIE M.¹, ALESSANDRIN A.²

¹ INRA ESR LERECO Nantes, ² ADIV Nantes

Résumé

L'acquisition d'une AOC par les éleveurs de Maine-Anjou s'est trouvée contemporaine de quelques grandes crises alimentaires. L'effort d'investigation et d'organisation consenti par les producteurs pour cette acquisition leur a permis de se mettre en phase avec le besoin de renforcement de la confiance ressenti par les consommateurs vis-à-vis du système agro-alimentaire et surtout de la filière bovine.

Introduction

Il s'agit ici de montrer que les actions engagées par les producteurs de bovins de race Maine-Anjou, en vue d'acquiescer leur Appellation d'Origine Contrôlée (AOC), leur ont permis de provoquer, en faveur de la viande issue de leurs animaux, une dynamique de restauration de la confiance. La durée de cette acquisition, de 1994 à 2004, correspond à la période qui a vu apparaître à la fois des crises sanitaires majeures dans l'agro-alimentaire (vache folle, dioxine), et le problème du rapport entre la Science et la Société (OGM). La démarche de ces producteurs n'était pas dictée par l'imminence des crises, mais il y a eu évidemment une interférence quasi constante entre leur dossier et ces événements négatifs qui mettaient en question la santé humaine et la qualité de la gestion de l'environnement par les acteurs économiques et les institutions.

Ces crises alimentaires de la fin du siècle ont donc incité les consommateurs à développer une grande méfiance vis-à-vis des filières agro-alimentaires et particulièrement de la filière bovine frappée de plein fouet par l'épizootie dite de la vache folle. Cette attitude a d'abord eu des effets négatifs en termes de volume et de prix. En revanche, elle a amené les consommateurs à élargir leur palette de critères de choix et d'appréciation des produits alimentaires et à renforcer le rôle des Signes Officiels de Qualité. Sur ces bases, la confiance a pu se redéployer.

Celle-ci ne s'installe durablement que si le consommateur perçoit l'offreur de produits comme intègre, crédible, donc compétent, et bienveillant vis à vis de son client, mais aussi de son entourage, c'est-à-dire civilisé, [Gurviez, 1999].

L'intégrité

Le doute le plus grave émis par les consommateurs rendu méfiant par les crises concernait l'intégrité des producteurs agricoles qui se seraient laissés égarer par la logique de profit. Or l'appellation d'origine contrôlée implique le respect de conditions de production fixées par décret, donc fixées par un tiers institutionnel qui représente l'intérêt public et qui contrôle. Parmi ces clauses figure régulièrement la restriction de rendement. L'acquisition de l'AOC est donc de nature à répondre à ce doute sur l'intégrité. On a même pu observer récemment des écrits présentant les AOC comme ne s'inscrivant pas dans le marché, ce qui reste tout à fait exagéré.

Les producteurs de Maine Anjou se sont retrouvés en terrain connu, puisque leur attachement à leur race était réputé, dans la filière bovine, comme contre-productif en regard des critères de performance de l'agriculture productiviste : surcoûts, et sous-cotation des carcasses de 6 à 7% par rapport aux charolaises. Cette réputation leur avait porté tort et avait provoqué le recul de leur cheptel (de l'ordre de 400 000 vaches avant 1940, 157 000 en 1959 et 57 000 en 2000). L'AOC allait permettre de transformer l'inconvénient en avantage en donnant un support institutionnel à la prise de distance vis-à-vis du marché et de la logique de profit.

La crédibilité

Le doute pesait aussi sur la compétence des producteurs : ils ne maîtriseraient pas les conséquences des techniques qu'ils emploient, et par indifférence, ne connaîtraient ni l'origine, ni même les caractéristiques spécifiques de leurs produits. Là aussi, l'AOC pouvait apporter des éléments de réponse en exigeant que soient mises à jour et prouvées les racines des systèmes de production, les caractéristiques exactes du produit et des techniques employées, en un mot, sa spécificité, laquelle fait partie de sa typicité.

Les études historiques et de notoriété ont permis de retrouver et d'afficher les racines du système de production du Maine Anjou. Ainsi a été mis en évidence la réalité d'une confiance dans le passé et des savoir-faire anciens et liés au terroir, qui étaient justement ceux de la France Rurale d'avant la révolution agricole, cette société idéalisée par beaucoup de consommateurs. Un exemple de savoir faire ancien, la finition des animaux, a été repris et valorisé par le cahier des charges de cette AOC.

Préalablement, il avait fallu redécouvrir le déterminisme de ce savoir-faire spécifique. Cette recherche par les producteurs des fondements exacts du système technico-économique construit au XIX^{ème} siècle autour de la race Maine Anjou a été un

temps fort de l'acquisition de l'AOC : les réminiscences de discours tenus par les ascendants ont donné des pistes pour établir la nature exacte du lien au sol, pistes qui se sont révélées fiables. En l'occurrence, il s'agissait principalement de la capacité physiologique des animaux à se nourrir pendant la période de sécheresse que traverse fréquemment en été le bassin de production originel du Maine Anjou.

L'appropriation des techniques de l'analyse sensorielle par les producteurs, en vue de montrer la typicité de la viande sous AOC, et en contribuant à mettre au point des descripteurs spécifiques, leur a permis de devenir experts incontestés, non seulement de leur élevage, mais aussi des produits qui en sont issus. Ainsi, lors de dégustations en aveugle, ils se révèlent capables d'identifier, avec plus de 80 % de réussite, les viandes provenant d'animaux Maine Anjou issus du terroir du bassin de production. De plus, les critères de reconnaissance qu'ils ont définis se sont révélés transmissibles aux consommateurs, puisque ceux-ci furent capables d'identifier cette viande lors de dégustations organisées formellement avec 66 % de réussite. Toutes ces démonstrations ont puissamment contribué à restaurer l'image de la production de Maine-Anjou dans la filière et à modifier en conséquence le jeu stratégique des producteurs vis-à-vis de leurs débouchés. Enfin, cette démarche a stimulé la motivation des producteurs dont le savoir devenait reconnu, non plus seulement dans le champ du patrimoine, mais aussi et surtout dans la sphère commerciale.

La bienveillance

Restait enfin le doute de la volonté des producteurs de procurer aux consommateurs, et surtout à la société, les aménités auxquelles celle-ci pense avoir droit, notamment en matière de gestion de l'environnement et de Développement Durable.

Dans le cas de la Maine-Anjou, plusieurs atouts étaient déjà visibles : l'attachement des producteurs à leurs animaux était notoire, puisque c'était une des principales causes de leur fidélité à la race. Témoin le vocabulaire courant des éleveurs qui faisait état de la « famille Maine-Anjou », notion conviviale par excellence. L'importance et les moyens accordés dans le passé à l'événement annuel du Salon de l'Agriculture ont toujours montré le souci des producteurs de dialoguer avec les citoyens.

La poursuite du dossier AOC a apporté de nouveaux éléments. C'est vrai au plan général, du fait que la notion d'appellation est bien comprise en France et liée à l'hédonisme. Mais un autre avantage est apparu grâce, notamment, à une analyse du positionnement stratégique de la race, par une analyse sémio-linguistique qui avait pour objet de comparer les discours publicitaires de différentes UPRA et autres fournisseurs de génétique. La race Maine Anjou est ressortie comme la seule (ou du moins une des rares, en France) à se prévaloir, non pas seulement d'entretenir et de transmettre les bienfaits de la nature, comme l'Aubrac et la Salers, mais surtout d'être insérée étroitement dans une véritable civilisation, c'est-à-dire un dispositif socio-économique original. S'il est vrai que ce modèle est dépassé, sa contribution à la construction d'un bien être collectif (dans la tradition) demeure. Ce fut un élément important de motivation et de fierté des producteurs que de voir explicitée leur spécificité en matière sociétale et montrée l'importance stratégique qu'elle pouvait revêtir.

Conclusion

La confiance restaurée :

L'acquisition de l'AOC par les producteurs de Maine-Anjou n'a pas seulement été la reconnaissance d'un état de fait de lien au sol, elle a été surtout l'occasion d'une réflexion de fond et d'actions sur le système de production, sur la filière et sur les consommateurs. Cette démarche, contemporaine de plusieurs crises alimentaires, a permis de fait de créer des atouts forts pour la restauration de la confiance sur le système qui bénéficie de l'AOC, et par contrecoup, sur l'ensemble de la filière bovine.

L'effet économique se fait déjà sentir : dès 1999, l'organisation de la filière consécutive à la constitution du dossier AOC avait permis de réduire la sous-cotation du Maine Anjou relativement au Charollais, et en 2004, l'acquisition de l'AOC a permis de le dépasser de près de 10 % (source UPRA ROUGES DES PRES). Un millier d'animaux finis est envisagé pour la 1^{ère} année de fonctionnement de l'AOC. Il est donc possible d'affirmer que, même dans un système jugé naguère obsolète, la confiance renouvelée des producteurs dans leurs choix techniques (race, mais aussi naturalité des méthodes d'élevage) et dans leur rapport à l'environnement et à la société a pu entraîner celle des agents de la filière et des institutions. Ainsi enrichie et justifiée, cette confiance a atteint un niveau de maturité pour se développer, via une communication précise et circonstanciée, vers le client, qui est un consommateur d'abord, mais aussi un citoyen, pour le rassurer face aux crises et incertitudes actuelles.

Bibliographie

GURVIEZ P., (1999), La confiance comme variable explicative du comportement du consommateur : proposition et validation empirique d'un modèle de relation intégrant la confiance, 15^{ème} Congrès international de Strasbourg, AFM 19-20 Mai, actes p 301-327.

LEUSIE M., ALESSANDRIN A., Crisalide, Analyse de la filière Maine-Anjou, UPRA Maine Anjou , 65p, 1997

Formulation des produits

Session 4

Animateurs

VENDEUVRE JL.
POMA JP.

CTSCCV
CTCPA

Communications orales

Session 4

|

|

PREDICTION DE LA TENEUR EN GRAS INTRAMUSCULAIRE DU PORC PIETRAIN PAR L'ULTRASONOGRAPHIE EN TEMPS REEL

YOUSSAO A.K.I.^{1,2}, VERLEYEN V.¹, MICHAUX C.¹, CLINQUART A.², LEROY P. L.¹.

¹ Université de Liège, Faculté Vétérinaire, 20 Boulevard de Colonster, B43, 4000 Liège, Belgique

² Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi – Département PA, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

Introduction

Le Piétrain est caractérisé par une forte teneur en viande maigre et un faible taux de lipides intramusculaires (Youssao et al., 2002). L'amélioration génétique des caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande de cette race porcine pourra se faire à partir des mesures sur la carcasse et des analyses chimiques, technologiques et organoleptiques de la viande. La sélection de ces caractéristiques à partir d'un performance-test de l'animal n'étant pas possible, elle devrait se baser sur le *progeny-test*. Grâce aux nouvelles technologies, l'ultrasonographie offre la possibilité de sélectionner des animaux vivants sur la base de la qualité de la viande. Contrairement aux bovins, peu d'études ont été réalisées sur la prédiction du gras intramusculaire au départ de l'ultrasonographie chez le porc (Sather *et al.*, 1996 ; Villé *et al.*, 1997). Ce travail vise à étudier la faisabilité et la précision de la prédiction du gras intramusculaire chez le Piétrain par l'ultrasonographie en temps réel.

Matériel et méthodes

Les données de 80 porcs dont 42 femelles et 34 castrats ont été enregistrées d'octobre 2000 à avril 2002 à la station expérimentale de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'Université de Liège. Le sevrage des porcelets est intervenu à 26 jours, moment de la castration des mâles. L'engraissement a débuté à un âge moyen de 85 jours. Les animaux ont été élevés par groupe de 10, choisis en fonction de l'âge et ont reçu une alimentation équilibrée distribuée *ad libitum*. Les animaux engraisés ont été abattus à un âge moyen de 213 jours et à un poids moyen de 107 kg.

La veille de l'abattage, des images échographiques ont été prises sur chaque animal à l'aide du Scanner Pie Medical 200 (*Pie Medical equipment BV, Maastricht, Netherlands*) équipé d'une sonde « *animal science* » de 18 cm de long (ASP18) et de fréquence 3,5 Mhz. Ces images ont été prises au niveau de la 10^e à la dernière côte, perpendiculairement à l'axe de la colonne vertébrale, à une distance de 6 cm de celle-ci. La teneur en gras intramusculaire a été estimée à partir du pourcentage de « pixels blancs » d'une portion homogène de l'image échographique du muscle *Longissimus thoracis*. Cette portion a été appelée ROI (*region of interest box area*) par Amin et al. (1997). Deux images échographiques ont été prises successivement sur chaque animal. Le pourcentage de « pixels blancs » contenus dans la ROI de chaque image a été calculé par le QUIP Index (*Quality Ultrasound Index Program*) (Gresham, 1996).

Vingt quatre heures après l'abattage, le pourcentage en viande maigre a été estimé par le Capteur Gras/Maigre (CGM, Sydel). A la découpe, une tranche du muscle *Longissimus thoracis* d'épaisseur correspondant aux côtes 12^e et 13^e a été prélevée et congelée (-20°C) jusqu'au jour de la détermination de l'extrait éthéré suivant la norme internationale ISO 1443 (Organisation Internationale de Normalisation, 1973). La détermination de la teneur en matière grasse a été réalisée deux fois pour chaque échantillon.

Analyses statistiques

Pour l'analyse des données, les moyennes des mesures répétées d'extrait éthéré et d'échogénéité musculaire ont été considérées. Les données ont été analysées par le SAS (Statistical Analysis System, 1989). Les corrélations entre le poids vif (PV), la teneur en viande maigre (TVM), l'épaisseur du lard dorsal (ELD) et les pourcentages d'extrait éthéré (EE) et de « pixels blancs » (PB) ont été calculées par la procédure *Proc corr* du SAS. Enfin, la procédure GLM a été utilisée pour développer le modèle de prédiction de l'EE à partir du pourcentage de « pixels blancs » des images échographiques du muscle *Longissimus thoracis*.

Résultats et discussion

Les corrélations entre EE, PB, ELD, TVM et PV sont données au tableau 1. La corrélation entre les pourcentages d'EE et de PB a été de 0,59 ($P < 0,001$). L'EE a été négativement et significativement corrélé avec la teneur en viande maigre ($r = -0,64$; $P < 0,001$). Les corrélations entre EE (ou PB), ELD et PV n'ont pas été significatives. Des corrélations similaires ont été obtenues par Sather et al. (1996), Villé et al. (1997) et Baulin et al. (2000). Si les corrélations génétiques vont dans le même sens que celles obtenues dans la présente étude, la sélection des porcs sur la base de leur teneur en EE pourra donc se faire sans influencer l'épaisseur du lard dorsal. Les corrélations négatives entre les pourcentages d'EE (ou PB) et la TVM exigent un équilibre entre la TVM et le pourcentage d'EE dans les prochains programmes de sélection.

Tableau 1 : Corrélations (r) entre le poids vif (PV), l'épaisseur du lard dorsal (ELD) et les pourcentages d'extrait étheré (EE), de pixels blancs (PB) et de viande maigre (TVM).

	PB	ELD	TVM	PV
EE	0,59***	0,19	-0,64***	0,27*
PB		0,05	-0,36**	0,16
ELD			-0,21	0,48***
TVM				-0,26*

* P < 0,05 ; ** P < 0,01 ; *** P < 0,001

Tableau 2 : Equations de prédiction du pourcentage d'extrait étheré au départ du pourcentage de pixels blancs des images échographiques

	Effectif	Intercept	Pixels Blancs (%)	R ²	RMSE
Général	80	0,2636	0,1192	0,35	0,26
Castrat	34	0,1042	0,1332	0,36	0,24
Femelle	42	0,3675	0,1070	0,35	0,25

RMSE : Écart quadratique moyen des erreurs décrit par Herring et al. (1994).

Le modèle de prédiction de l'EE sur la base du PB a été déterminé par sexe et pour l'ensemble des données (tableau 2). Le coefficient de détermination et l'écart quadratique moyen des erreurs ont été : 0,35 et 0,26% pour l'ensemble des données. Pour les mâles, l'erreur quadratique diminue à 0,24 % alors que le R² augmente à 0,36 par rapport aux valeurs correspondantes obtenues pour l'ensemble des données. Par contre chez les femelles, seule l'erreur quadratique a diminué légèrement de 1 %. Selon Villé et al. (1997), la prédiction de la teneur en EE à partir du pourcentage de pixels blancs a donné des R² compris entre 0,31 et 0,43. Avec un appareil à ultrasons Aloka 500 V (*Corometrics Medical Systems, Wallingford, Connecticut*), le coefficient de détermination est de 0,33 si le pourcentage de « pixels blancs » seul est utilisé dans le modèle de prédiction (Ragland *et al.* 1997). Ce coefficient est de 0,34 si le sexe est ajouté dans le modèle de prédiction ou de 0,38 en incluant l'épaisseur du lard dorsal (Ragland *et al.*, 1997). Ces valeurs de R² sont voisines de celles observées dans le cadre de la présente étude. Une légère amélioration a été observée en développant les modèles de prédiction par sexe. Par contre, en ajoutant l'épaisseur du lard dorsal dans l'équation de prédiction de la présente étude, le R² ne s'améliore pas et l'écart quadratique moyen des erreurs augmente.

Conclusion

Les résultats de cette étude indiquent qu'il est possible d'estimer le pourcentage de gras intramusculaire par l'ultrasonographie en temps réel chez le porc. Toutefois, la précision de la prédiction reste encore à améliorer. Tenant compte de la faible variation du pourcentage de gras intramusculaire du Piétrain, un logiciel et un modèle appropriés seront nécessaires pour les prochains programmes de prédiction. L'utilisation de l'ultrasonographie en temps réel pourra ainsi permettre de sélectionner des animaux d'élevage en fonction de la teneur en gras intramusculaire sans qu'il soit nécessaire de les abattre ou d'attendre les résultats des mesures effectuées sur la descendance si la précision est améliorée.

Remerciements

Les auteurs remercient G. Degand, B. Leroy, J. Thimister, J-L. Hornick, F. Farnir, J. Detilleux, E. Davis, l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et le Commissariat Général aux Relations Internationales de la Communauté Wallonie - Bruxelles (CGRI) pour leur contribution.

Bibliographie

- Amin V., Wilson D.E., Rouse G., Usoft H., 1997. Beef Research Report, A. S. Leaflet R1437, Iowa State Univ., Ams, 41-47.
- Baulin U., Kohler P., Kallweit E., Brade W., 2000. EAAP publication N°100, Zürich (22-26 August 1999), 161-164.
- Gresham J. D., 1996. The ultrasound Review. Classic Ultrasound Equipment : Tequesta, 10 p.
- Ragland K.D., Brondum J., Christian L.L., 1997. National Swine Improvement Federation, Proceedings. <http://mark.asci.ncsu.edu/nsif/97proc/ragland.htm> consulté le 26/10/01.
- Statistical Analysis System, 1989. SAS/STAT. User's guide. Version 6. 4th Ed. SAS. Inst.Inc. : Cary, 846p.
- Sather A. P., Bailey D.R.C., Jones S.D.M., 1996. Can. J. Anim. Sci. 1996, **76**, 55-62.
- Villé H., Rombouts G., Van Hecke P., Perrmans S, Maes G., Spincemaille G., Geers R., 1997. J. Anim. Sci., **75**, 2942-2949.
- Youssao A.K.I., Verleyen V., Michaux C., Clinquart A., Leroy P.L., 2002. Ann. Méd. Vét. 146, 329-338.

PREDICTION DU PH DE LA VIANDE DE DINDE AU COURS DU MARINAGE DANS DES SOLUTIONS D'ACIDE ACETIQUE

ABI NAKHOUL P.^{1,2}, GOLI T.¹, ZAKHIA-ROZIS N.¹, BOHUON P.^{1,2}, TRYSTRAM G.³

¹CIRAD, TA 40/16, 73, rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 05, France

²ENSIA, 1101, av. Agropolis, CS 24501, 34093 Montpellier Cedex 05, France

³UMR Génial, 1 Av. des Olympiades, 91744 Massy cedex, France

Introduction

Le marinage de la viande consiste le plus souvent en une immersion du produit dans des solutions d'acides organiques. Le chlorure de sodium, l'acide acétique et les polyphosphates constituent les principales ingrédients utilisés pour la formulation (Gault 1991). Quatre fonctions émanent du marinage, la formulation (le goût), la préservation, l'amélioration du rendement de masse et la modification de la texture. Dans le cas d'un traitement acide+eau, on observe une destruction d'une partie de la flore microbienne, une augmentation de la capacité de rétention d'eau et un gonflement. Le pH de la viande est abaissé mais sans toutefois atteindre celui de la solution du fait du pouvoir tampon des différents constituants de la viande (protéines, sels, phosphates, lactate, acides aminés,...) (Kyla-Puhju et al., 2004; Rao et al., 1989). Dans ces travaux, il s'agit d'étudier les cinétiques de migration de l'acide et de l'eau dans un cube de viande de dinde (*pectoralis major*) immergé dans une solution eau+acide acétique jusqu'à l'équilibre. L'effet de l'acide sur le gonflement a été étudié et l'attention a également été portée sur les différentes espèces chimiques en présence dans la viande du fait de la dissociation de l'acide, afin d'être capable de prédire le pH à l'état d'équilibre.

Matériel et méthodes

Les filets de viande de dinde (*Pectoralis major*) sont décongelés à température ambiante, puis des cubes de 1 cm³ sont préparés. Les solutions d'immersion contiennent de l'acide acétique glacial 100% (Merck, Allemagne) à 0,03 ; 0,24 et 1,03 mol.kg⁻¹ eau. 20 g de viande sont immergés dans des bocaux de 0,3x10⁻³ m³. Le système est agité à 16,7 rad.s⁻¹. Après 15, 30, 60, 180 et 360 minutes d'immersion les cubes sont essuyés avec un papier pendant 5 secondes afin de sécher la surface et puis sont pesés. Des mesures sont faites pour déterminer la teneur en eau, l'acidité titrable et le pH. Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre (WTW-Inolab pH Level 2) avec une électrode (WTW-Sentix-Sp) adaptée pour la viande. Toutes les mesures sont réalisées en triple.

Résultats et discussions

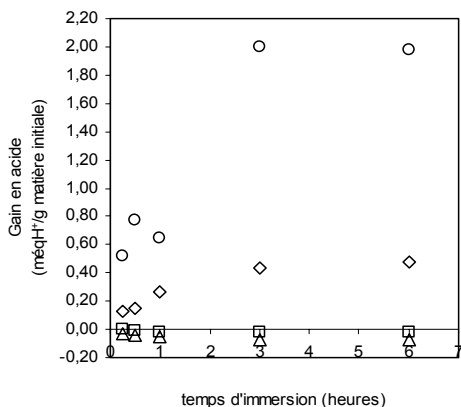


Figure 1 : Gain en acide des cubes de chair de dinde en fonction du temps d'immersion dans une solution d'acide acétique à : (○) 1,03 mol.kg⁻¹; (◇) 0,24 mol.kg⁻¹; (□) 0,03 mol.kg⁻¹; (Δ) eau déminéralisée.

La figure 1 montre l'évolution du gain en acide de cubes de viande de dinde en fonction du temps d'immersion dans une solution d'acide acétique. Une diminution rapide et intense du pH est observé avec l'augmentation de la concentration d'acide acétique de la solution. Un pouvoir tampon significatif de la viande est noté. Les pH atteints dans la viande sont 4,6-3,7 et 3,3 tandis que ceux de la solution d'immersion sont 3,1-2,7-2,4 pour 0,03-0,24-1,03 mol.kg⁻¹ respectivement. Le calcul montre que la grande partie des protons résultants de la dissociation de l'acide acétique sont fixés sur les composés de la viande. Les protons libres dans la viande représentent moins de 0,5% de l'acide acétique présent dans la viande, toutes les formes considérées.

L'état d'équilibre pour la concentration en acide est atteint à 3 heures d'immersion. Pour les solutions à faible concentration, il n'y a pas de gain en acide à cause de la perte en acide lactique initialement présent dans la viande. La concentration d'acide initiale est de 16 mégH⁺ pour 100g de viande, tandis que la concentration en acide acétique de la solution d'immersion est de 3,3 mmol pour 100g de solution (Tableau 1). Malgré cela une réduction du pH est observée, certainement par le transfert de protons (H₃O⁺), dont la concentration dans la viande passe de 10⁻⁶ à 10^{-4,5} még/l, à cause de sa teneur relativement élevée dans la solution d'immersion (10^{-3,1} még/l). De plus durant l'immersion dans la solution diluée, une proportion significative de molécules est extraite de la viande, qui joue un rôle capital dans le pouvoir tampon, ce qui explique la diminution du pH tandis que l'acidité titrable n'évolue pas.

Un gonflement important est observé dû à l'acidification. Ce gonflement est corrélé au pH (fig. 2). Pour la solution la plus diluée le gonflement observé est dû uniquement au pH, puisque l'acidité de la viande n'a pas changé. Gault (1991) et Rodger et al (1984) mentionnent ce gonflement et ceci est expliqué par la théorie électrostatique qui est basée sur la répulsion des chaînes protéiques quand le pH s'éloigne du point isoélectrique. Ainsi les forces d'attractions entre les chaînes protéiques diminuent, ceci explique l'absorption d'eau et le gonflement.

Pour les protéines myofibrillaires le pH est situé entre pH 5 et 5,5. La figure 2 montre bien l'augmentation du gain en eau avec la diminution du pH à peu près 0,5g/g de viande/unité pH, sur l'échelle pH 5,5 à 3,5 (Tab.1).

Tableau 1 : Valeur du pH et de l'acidité titrable de la viande de dinde et de la solution d'immersion après 3 heures d'immersion à différentes concentrations d'acide acétique.

Condition de marinage	valeur de pH		Acidité de la solution (még.H ⁺ /100g eau)	Acidité titrable de la viande (még.H ⁺ /100g)
	Viande	Solution		
Viande fraîche	5,75 ± 0,01	---	---	16,14 ± 0,79
Solution 0	6,09 ± 0,09	6,40	---	5,23 ± 0,13
d'immersion 0,03	4,57 ± 0,02	3,10	3,3	7,03 ± 0,72
Ac. Acétique (mol.kg ⁻¹) 0,24	3,74 ± 0,02	2,70	24	28,79 ± 0,42
1,03	3,34 ± 0,11	2,40	103	93,59 ± 1,30

Le gonflement étant relié au pH et pas seulement à la teneur en acide, on comprend l'importance de contrôler le pH durant le marinage, d'où l'importance de la prédiction du pH. Dans une matrice complexe comme la viande, il est impossible de l'obtenir directement en calculant les différentes proportions des constituants chimiques, car une grande partie des protons provenant de la dissociation de l'acide utilisé sera neutralisée par les composants de la viande. Une approche pour prédire le pH dans un broyat de viande acidifiée ou durant le marinage à un ratio élevé de viande/solution consiste à titrer préliminairement la viande avec un acide fort (Svensson et al., 1998). Ceci permet d'établir une relation entre le pH et les protons liés à la viande, notés H^B. Cette relation peut être établie en calculant le pouvoir tampon de la viande tout en prenant en compte la perte de composés solubles durant l'immersion. En réalisant une titration de la viande après un trempage à l'eau pendant 3 heures. Connaissant la relation [H^B] = f(pH), le pH atteint dans la viande à l'état d'équilibre est prédit en utilisant le pKa de l'acide et la concentration d'acide de la solution d'immersion (équation 1). Le tableau 2 montre les valeurs de pH observé et prédit de la viande après 3 heures d'immersion. Pour la prédiction du pH d'un morceau de viande à l'équilibre, on recherche l'écart minimum entre le Ka théorique (4,75) et le Ka calculé, en recherchant le couple (pH/H^B) le plus approprié pour chaque concentration d'acide (équation 2).

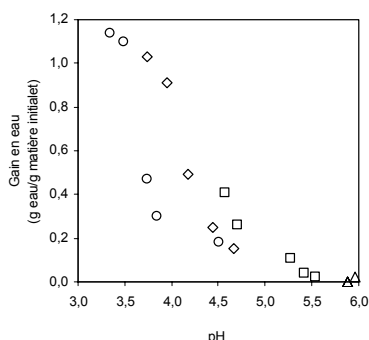


Figure 2 : Gain en eau de la viande de dinde en fonction du pH. Immersion dans des solutions d'acide acétique à: (○) 1,03 mol.kg⁻¹; (◇) 0,24 mol.kg⁻¹; (□) 0,03 mol.kg⁻¹ et dans l'eau déminéralisée (Δ).

Equation 1

$$K_a = \frac{([H_b^+]_m + [H_3O^+]_m)[H_3O^+]_m}{c_0 - ([H_b^+]_m + [H_3O^+]_m)}$$

Equation 2

$$\left(\frac{[H_b^+]}{1+S} + 10^{-pH} \right) 10^{-pH} - K_a = 0$$

$$c_0 - \left(\frac{[H_b^+]}{1+S} + 10^{-pH} \right)$$

Tableau 2 : pH observé et pH prédit de la viande de dinde après 3 heures d'immersion

Molalité d'acide	0,03		
pH observé	4,71 ± 0,01	3,95 ± 0,01	3,49 ± 0,00
pH prédit	5,00 ± 0,07	4,10 ± 0,01	3,67 ± 0,02

Conclusions

Ce travail a permis l'étude des cinétiques d'acidification et du gonflement durant le marinage de viande de dinde dans une solution d'acide acétique de 0,03 à 1,03 mol.kg⁻¹. Ceci confirme l'importance du pouvoir tampon de la viande, ainsi que l'importance du pH sur le gonflement, qui peut dépasser 1g/g lorsque le pH baisse au-dessous de 4. Une approche prenant en compte le gonflement et la chute du pouvoir tampon de la viande durant le marinage pour prédire le pH de la viande a été proposée.

Références bibliographiques

- Gault N.F.S., 1991. Marinated meat, in *Developments in meat science*. EAS, (pp.191-246)
 Kyla-Puhju M, Ruusunen M, Kivikari R, & Puolanne E., 2004. *Meat Science*, 8, 245-281.
 Rao M. V, Gault N.F.S, Kennedy S., 1989. *Meat Science*, 26(1), 19-37.
 Rodger G, Hastings R, Cryne C, Bailey J., 1984. *J of Food Sci*, 49, 714-720.
 Svensson B, Tornberg E., 1998. in *Proceedings of the 44th ICoMST*, 506.

Remerciements

Mr. Pierre Abi Nakhoul remercie le Conseil National de Recherche Scientifique du Liban (CNRSL) pour le support financier.

Posters

Session 4

|

|

EFFET DE DIFFERENTS ANTIOXYDANTS VEGETAUX SUR LA STABILITE DE COULEUR ET L'OXYDATION DES LIPIDES DE LA VIANDE HACHEE

GUIAVARC'H E.¹, THOMAS E.¹, PEYRON A.¹, RENERRE M.², GATELLIER P.²,
GLADINE C.³, BAUCHART D.³, DURAND D.³

¹ADIV, 63000 Clermont-Ferrand, ²Station de Recherches sur la Viande, et ³Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA THEIX, 63122 St Genès-Champanelle.

Introduction

La couleur de la viande, lors de la conservation, va dépendre de la vitesse d'autoxydation de l'oxymyoglobine (de couleur rouge vif, recherchée par le consommateur) en metmyoglobine (de couleur marron, synonyme de rejet). En parallèle, il se produit une oxydation des lipides générant des saveurs désagréables et conduisant à une dégradation des qualités nutritionnelles de la viande. Ces phénomènes d'oxydation sont particulièrement marqués dans les viandes hachées du fait de la déstructuration du muscle ainsi que de leur teneur élevée en matière grasse. Avec 25000 tonnes par an, les steaks hachés représentent près de 20% de la production de la viande bovine en France. Pour conserver les qualités technologiques mais aussi nutritionnelles des produits lors de la distribution et du stockage, il est important de pouvoir limiter les phénomènes d'oxydation. C'est pourquoi, nous avons étudié les effets de l'incorporation de différents extraits végétaux antioxydants dans le steak haché.

Matériel et méthodes

Les analyses ont été réalisées sur des steaks hachés de bœuf à 15% de matière grasse, produit standard le plus consommé, dans lesquels ont été incorporés les extraits végétaux antioxydants, juste avant le formage, aux doses préconisées par les fabricants (de 0,4 à 2,5 g/kg de viande). Parmi douze extraits végétaux testés dans cette étude, 5 seulement ont été sélectionnés sur des critères organoleptiques après analyse sensorielle. Pour des raisons de confidentialité industrielle, les extraits testés sont numérotés 3, 4, 7, 9, et 11. Il s'agit d'extraits de romarin liquide ou en poudre (2,4 à 15% de composés phénoliques) et d'extraits de pépin de raisins en poudre (> 70% de proanthocyanidol). Ces différents steaks ont été comparés à un steak témoin sans ajout d'antioxydants. Les steaks ont été conservés à l'air et à 5°C pendant 7 jours sous éclairage 16h/24h. L'oxydation des produits a été mesurée après 1, 4 et 7 jours de conservation. Chaque mesure représente la moyenne obtenue sur 3 steaks différents. Les mesures de couleur ont été réalisées par spectroscopie de réflectance et les paramètres de couleur ont été mesurés dans le système CIELAB 1976 (L*, a*, b*). Le taux de metmyoglobine a été mesuré par la méthode de Krzywicki (1979). L'oxydation des lipides a été mesurée par le test SR-TBA (Lynch et Frei, 1993 adaptée par Mercier et al., 1998) et les résultats sont exprimés en mg MDA/Kg de viande. Les taux de malondialdéhyde (MDA) ont été mesurés par chromatographie HPLC d'après Bird et al ; (1983) adaptée spécifiquement au bovin par le laboratoire.

Résultats et discussion

Les mesures de spectrophotométrie montrent une dégradation de couleur importante dans tous les échantillons au cours de la conservation. Au bout de 7 jours l'indice de rouge a* (figure 1 et tableau 1) chute d'environ 50% alors que le taux de myoglobine oxydée (metmyoglobine) passe de 30 à 45% (figure 2 et tableau 2). Les steaks témoins présentent des indices de rouge plus élevés que les steaks contenant les extraits mais ces différences ne sont significatives au bout de 1 et 4 jours que dans le cas des extraits 7, 9 et 11. Dans le cas de la metmyoglobine, au bout de 7 jours de conservation, les extraits 3 et 4 présentent des valeurs significativement plus faibles que les témoins et que les autres extraits ce qui traduit un effet protecteur de ces extraits contre l'oxydation. Lors d'une conservation de la viande de bœuf sous atmosphère modifiée, Sanchez-Escalante et al. (2001) ont aussi montré une protection de la myoglobine vis à vis de l'oxydation par un extrait de romarin en poudre. Dans l'ensemble, ces résultats montrent donc un effet relativement faible des différents extraits sur la stabilité de couleur de la viande hachée. Par rapport au taux de metmyoglobine, les antioxydants 3 et 4 sont ceux qui présenteraient la meilleure efficacité.

La figure 3 montre un effet protecteur important des différents extraits vis à vis de l'oxydation des lipides mesurée par le test SR-TBA (p<0.001). C'est au bout de 7 jours que l'effet protecteur des antioxydants est le plus marqué. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les différents extraits.

La figure 4, montrant l'évolution du taux de MDA mesuré par HPLC (de 39 à 78% d'inhibition), confirme, avec un effet plus marqué (p<0.001) que la mesure de TBA (de 7 à 28% d'inhibition), l'effet protecteur sur les lipides des différents extraits végétaux. Au bout de 7 jours une inhibition d'oxydation moyenne de 74% a été mesurée avec les antioxydants par rapport aux témoins. Ces résultats sont en accord avec ceux de Sanchez-Escalante et al. (2001) ainsi que ceux de Ahn et al. (2002) qui montrent un effet protecteur des extraits de romarin et de raisin sur l'oxydation des lipides de la viande de bœuf.

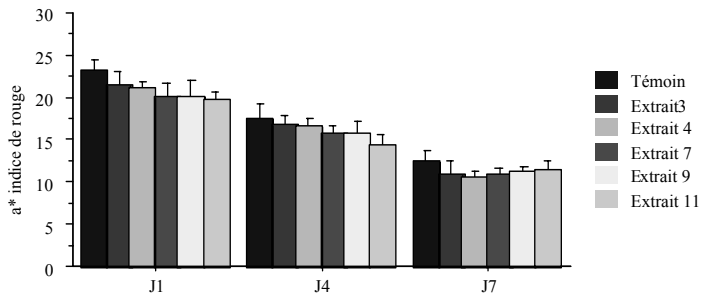


Figure 1 et tableau 1 (Anova): Effet des antioxydants sur l'indice de rouge a*.

Facteurs testés	Probabilité test F de Fischer en %	Niveau de signification
antioxydants	<0,01	***
Durée de conservation	<0,01	***
interaction	30,33	NS

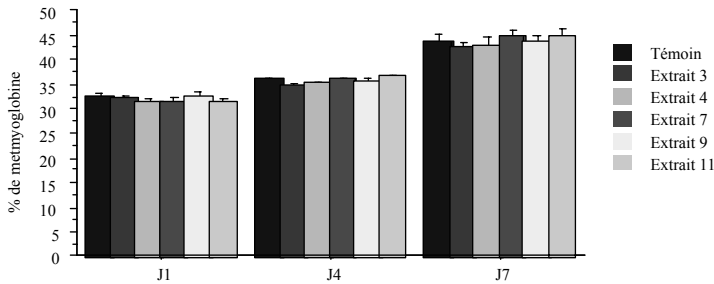


Figure 2 et tableau 2 (Anova): Effet des antioxydants sur le pourcentage de metmyoglobine.

Facteurs testés	Probabilité test F de Fischer en %	Niveau de signification
antioxydants	1,09	*
Durée de conservation	<0,01	***
interaction	7,77	NS

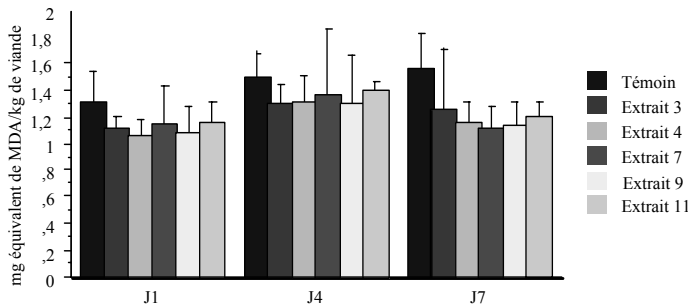


Figure 3 et tableau 3 (Anova): Effet des antioxydants sur l'oxydation des lipides (test SR-TBA).

Facteurs testés	Probabilité test F de Fischer en %	Niveau de signification
antioxydants	<0,01	***
Durée de conservation	<0,01	***
interaction	41,16	NS

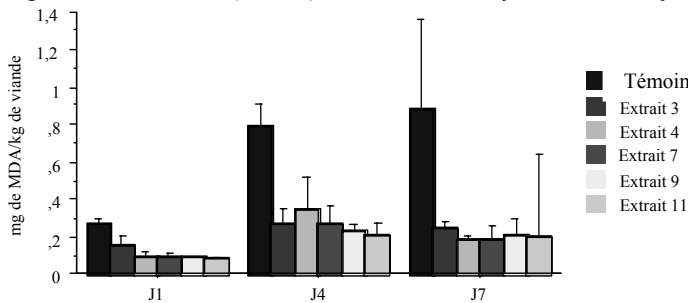


Figure 4 et tableau 4 (Anova): Effet des antioxydants sur la formation de malondialdéhyde (mesurée par HPLC).

Facteurs testés	Probabilité test F de Fischer en %	Niveau de signification
antioxydants	<0,01	***
Durée de conservation	<0,01	***
interaction	<0,01	***

Conclusion

L'incorporation d'extraits végétaux antioxydants à la viande hachée de bœuf pourrait être une solution intéressante pour préserver ses qualités technologiques lors de la conservation. Nos résultats montrent un effet positif de ces extraits sur l'oxydation des lipides. Les effets de ces extraits sur l'aspect visuel et le goût de la viande nécessiteront des études plus approfondies. Une combinaison d'extraits végétaux, ainsi qu'une conservation sous atmosphère modifiée, pourraient être testées afin de mieux mettre en évidence l'effet sur la couleur de la viande.

Références bibliographiques

- Ahn J., Grun I.U., Fernando L.N., 2002. Food Chem. Toxicol., 67, 1364-1369.
 Bird R.P., Hung S.S., Hadley M., Draper H.H., 1983, 128, 240-244.
 Krzywicki K., 1979. Meat Sci, 3, 1-8.
 Lynch S.M., Frey B., 1993. J. Lipid Res. 34, 1745-1751.
 Mercier Y., Gatellier P., Viau M., Remignon H., Renerre M., 1998. Meat Sci., 48, 301-318.
 Sanchez-Escalante A., Djedane D., Torrecano G., Beltran J.A., Roncales P., 2001. Meat Sci., 58, 421-429.

STIM/ SRV INRA Theix 63122 St Genès Champanelle

Les pertes en eau sont particulièrement préjudiciables à l'acceptabilité par le consommateur. Les méthodes générales utilisées pour mesurer le pouvoir de rétention d'eau ont peu évolué depuis des décennies. Le pouvoir de rétention d'eau de la viande dépend essentiellement du degré de rétrécissement latéral des myofibrilles au cours de l'installation de la rigidité cadavérique et de la modification associée de la compartimentation de l'eau dans le tissu musculaire (Offer et Knight, 1988). Des corrélations significatives entre les mesures de temps de relaxation mesurés par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) et des indicateurs de qualité de viande ont été mises en évidence (Renou et al, 1985). Un comportement bi-exponentielle du temps de relaxation transversal (T_2) est généralement observé dans le muscle en *rigor*. Fjellner-Modig & Tornberg (1986) et Tornberg et al (1993) ont décrit 3 compartiments d'eau dans la viande de porc en *rigor* et ont proposé de les identifier à l'eau extracellulaire, à l'eau dans les myofibrilles et à l'eau en forte interactions avec les macromolécules. Le T_2 le plus long correspondrait à l'eau extracellulaire (Brown et al., 2000). Si les études de relaxation RMN permettent de caractériser la viande, elles ne permettent pas de visualiser les compartiments d'eau dans la structure. L'imagerie de diffusion donne des cartes des coefficients de diffusion à l'échelle supramoléculaire (Le Bihan et al., 2001). Du fait de l'organisation spatiale des fibres musculaires, les mouvements de l'eau sont attendus anisotropes. Cette anisotropie de diffusion peut être extraite et caractérisée avec l'imagerie de tenseur de diffusion.

Matériel et Méthodes

Nous avons travaillé sur des échantillons de muscles de bœuf : *Semi-Tendineux* (ST), *Biceps Femoris* (BF), *Infraspinatus* (IS), *Longissimus Thoracis* (LT) et *Pectoralis Profundus* (PF). Ces muscles ont été choisis en fonction de l'orientation et la taille des faisceaux de fibres. Les fibres musculaires sont connues pour être parallèles entre elles dans le muscle ST.

Les mesures en imagerie RMN ont été réalisées sur un Biospec BRUKER 47/40 avec un entrefer de 27cm de diamètre.

Dans une première expérience sur le ST, les échantillons étaient placés l'un au dessus de l'autre afin que l'axe des fibres soit parallèle / perpendiculaire au champ magnétique. L'épaisseur de tranche est de 1mm avec une matrice 128 x 64, TR/TE 3000/55,3ms. Le tenseur de diffusion était estimé à partir d'une séquence d'écho de spin pondérée en diffusion avec 1150 s/mm² comme plus grande valeur de b à une température de 10°C.

Dans la seconde expérience sur les autres muscles, l'épaisseur de tranche est de 10mm avec une matrice 128 x 128, TR/TE 3000/38,9ms. Le tenseur de diffusion était estimé à partir d'une séquence d'écho de spin pondérée en diffusion avec 10000 s/mm² comme plus grande valeur de b. Les mesures ont été faites à 20°C.

Résultats et discussion

La Figure 1A est une image morphologique alors que la Figure 1B est une image paramétrique du coefficient de diffusion apparent (CDA) le long de l'axe z (D_z). L'hyper-signal correspond aux valeurs de coefficient de diffusion les plus élevées. Nous avons pu vérifier (Bonny et Renou al., 2002) que ces dernières sont celles du coefficient de diffusion parallèle à l'axe des fibres .

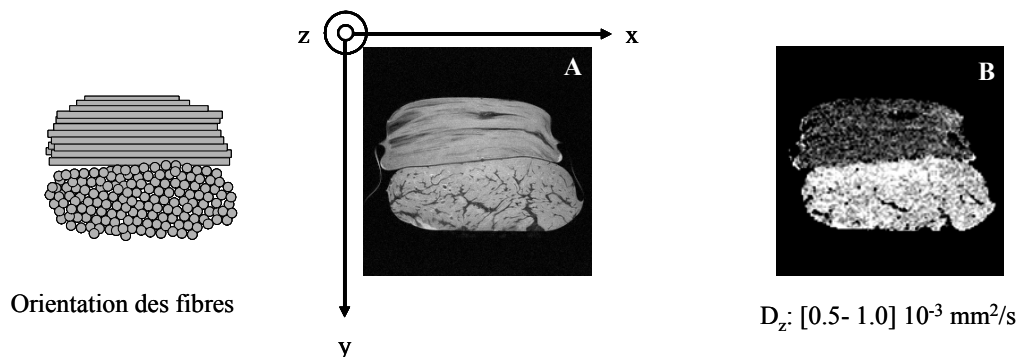


Figure 1: Images RMN du muscle *semitendinosus* de bovin (A) morphologique, B image paramétrique de diffusion le long de l'axe z.

Les coefficients de diffusion de l'eau ont été mesurés parallèlement ($D_{||}$) et perpendiculairement (D_{\perp}) aux fibres, par RMN, au cours de l'installation de la *rigor mortis* dans le muscle de lapin (Foucat et al., 1995). L'anisotropie de diffusion, définie par le rapport $D_{||} / D_{\perp}$, passe de 1,6 à 1,9 entre 1 h et 11 h *post mortem*. Ces résultats sont en accord avec la présence

d'espace extracellulaire qui permet la diffusion plus rapide des molécules d'eau le long de l'axe des fibres. Une accumulation d'eau (figure 2) diffusant plus librement que dans le reste du muscle a d'ailleurs pu être caractérisée sur des images obtenues après suppression du signal provenant des gras (Laurent et al., 2000).

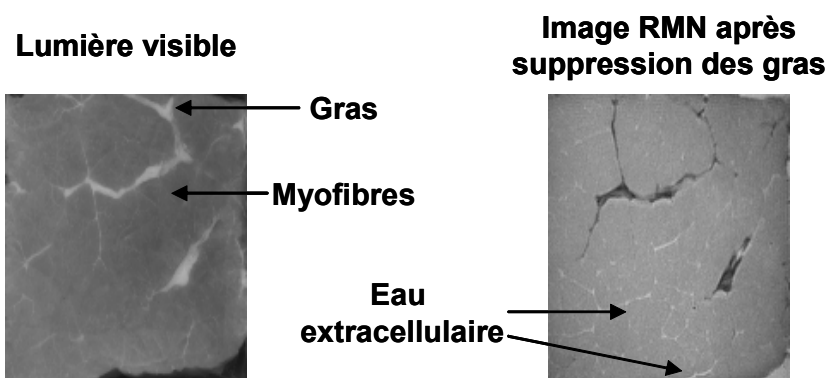


Figure 3: Muscle *Semitendinosus* de bovin: Image en lumière visible et image RMN avec suppression des gras (même coupe) ; l'eau extracellulaire apparaît en hyper-signal.

Cette caractérisation de l'eau extracellulaire confirme la présence de différents compartiments d'eau dans la structure. Aussi, dans la seconde expérience nous sommes intéressés au caractère non mono-exponentiel du tenseur de diffusion en fonction de b. Nous avons pu mesurer deux composantes. La population d'eau la plus importante : 95% de l'eau totale possède les valeurs de CDA_r les plus élevées $\sim 1,2 \cdot 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$. Ces valeurs sont environ 20 fois supérieures à celles relatives à la diffusion lente : $CDA_l \sim 0,06 \cdot 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ (Tableau 1)

Muscle	CDA_r ($10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	CDA_l ($10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	Fraction correspondant à la CDA_r (%)
BF	$1,18 \pm 0,06$	$0,06 \pm 0,02$	$95,8 \pm 2,9$
IS	$1,24 \pm 0,10$	$0,07 \pm 0,03$	$95,1 \pm 4,5$
LT	$1,18 \pm 0,05$	$0,06 \pm 0,03$	$96,7 \pm 1,6$
PP	$1,23 \pm 0,08$	$0,08 \pm 0,03$	$95,8 \pm 4,1$

Cette composante lente doit correspondre à de l'eau en très forte interaction avec les macromolécules myofibrillaires. Sa faible proportion $\sim 5\%$ peut s'expliquer par un phénomène artefactuel dû aux processus d'échange d'eau entre les différents compartiments.

Conclusion

L'imagerie de diffusion donne accès à différents paramètres qui aident à la caractérisation des tissus et à la compréhension des mécanismes d'exsudation qui ont lieu au cours de l'installation de la rigidité cadavérique.

Références bibliographiques

- Offer G., Knight P., 1988. *Develop. Meat Sci.* 4: 63-243.
 Renou J.P., Monin G., Sellier P., 1985. *Meat Sci.*, 15, 225-233.
 Fjelkner-Modig S., Tornberg E., 1986. *Meat Sci.*; 17, 213-231
 Tornberg E., Andersson A., Göransson A., Von Seth G., 1993. Water and fat distribution in pork in relation to sensory properties. In: E. Puolanne, and D. Demeyer, (eds), *Pork quality, genetic and metabolic factors*. Townbridge: CAB International, pp. 239-263.
 Brown, R. J.; Capozzi, F.; Cavani, C.; Cremonini, M. A.; Petracci, M., and Placucci, G. J. *Magn. Reson* 2000 Nov; 147(1):89-94
 Le Bihan D., Mangin J.F., Poupon C., Clark C.A., Pappata S., Molko N., Chabriat, H., 2001. *J. Magn. Reson. Imaging*, 13, 534-546.
 Bonny J.M., Renou J.P., 2002. *Magn. Reson. Imaging*, 20, 395-400.
 Foucat, L., Benderbous S., Bielicki G., Zanca M., Renou, J.P., 1995. *Magn. Reson. Imaging*, 13, 259-67.
 Laurent W.; Bonny J. M., Renou J.P., 2000. *J. Magn. Reson. Imaging*, 12, 488-496.

QUANTIFICATION DES TISSUS MUSCULAIRES ET ADIPEUX DE PIÈCES ET DE DEMI CARCASSES DE PORC A L'AIDE DE L'IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE

MONZIOLS M.^{1,2}, COLLEWET G.¹, BONNEAU M.², MARIETTE F.¹, KOUBA M.², DAVENEL A.¹

¹ Cemagref, Unité TERE, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes cedex

² Unité Mixte INRA-Agrocampus Rennes de Recherche sur le Veau et le Porc, 35590 Saint-Gilles

Introduction

Les proportions de tissus musculaires et adipeux sont une composante essentielle de la qualité des carcasses et des pièces de découpe de porc. La méthode de référence pour quantifier ces tissus est la dissection totale. Cette méthode consistant à séparer manuellement les divers tissus qui constituent la carcasse est longue, fastidieuse et destructrice, donc coûteuse. Nous proposons ici une alternative : l'imagerie par résonance magnétique (I.R.M.). Cette technique utilisée notamment en médecine humaine et basée sur les propriétés magnétiques des atomes d'hydrogène, permet de réaliser des coupes virtuelles au sein des tissus biologiques.

Dans le but d'apprécier l'intérêt d'une telle technique pour la quantification des tissus musculaires et adipeux des carcasses de porc, nous avons mis en place une étude consistant à estimer les corrélations entre des données de dissection et des résultats obtenus par la méthode I.R.M. couplée à des méthodes quantitatives d'analyse d'image.

Matériel et méthodes

L'étude a été menée sur 24 animaux issus de 4 génotypes (Large-White X Meishan, Large-White X [Large-White X Meishan], Large-White et Large-White X Piétrain) et de deux types sexuels (femelles et castrats). Le choix des génotypes a été effectué en vue de disposer d'une large gamme de variation du développement des tissus adipeux et musculaires. Les animaux ont été élevés à la station expérimentale de l'UMR-VP à Saint-Gilles et abattus à un poids vif moyen de 115 Kg. Après un ressuyage de 24 h, les carcasses ont été découpées selon la procédure hollandaise normalisée décrite par Metayer et Daumas (1998).

Les 4 principales pièces (jambon, épaule, poitrine et rein) ont ensuite été transférées au Cemagref de Rennes en vue de l'acquisition d'images I.R.M. Celle-ci a été effectuée sur un imageur Open 0.2 T (Siemens) équipé d'une antenne « corps » et selon une séquence d'acquisition en double écho de gradient décrite par Malleyran-Toussaint (2002) permettant d'obtenir des coupes virtuelles d'épaisseur 8 mm tous les centimètres. Durant toute la durée de la mesure les pièces ont été maintenues à une température de 5°C. Les pièces ont ensuite été disséquées à l'abattoir expérimental de l'UMR-VP à Saint-Gilles en six fractions tissulaires (peau, os, muscle, gras sous-cutané, gras intermusculaire et divers : tendons, aponévroses, ganglions, glandes, nerfs et vaisseaux sanguins) qui ont été pesées.

Les images I.R.M ont été analysées afin de quantifier automatiquement les volumes des pièces et de chacun des tissus. En premier lieu l'image a subi une division par l'image d'un objet uniforme (fantôme) afin de la corriger d'artéfacts issus de l'inhomogénéité spatiale du champ magnétique et de la sensibilité de l'antenne de mesure. Afin de quantifier le volume des pièces, la zone utile de chaque image a été séparée du fond (correspondant à l'air) par une analyse de contours utilisant le filtre de Deriche (1987). En vue de quantifier les tissus adipeux et musculaire, une adaptation de l'algorithme de segmentation markovienne décrit par Shattuck *et al.* (2001) a été implémentée en langage C. Cette méthode permet de quantifier le nombre de pixels de muscle, de tissu adipeux ainsi que les pixels contenant un mélange de ces deux tissus.

Les résultats ont ensuite été analysés sous le logiciel EXCEL par régression linéaire des poids ou des pourcentages massiques mesurés par dissection sur les volumes et pourcentages volumiques (rapports entre les volumes de chacun des tissus et le volume de la pièce) obtenus par I.R.M. Le coefficient de détermination et l'erreur type de prédiction ont été calculés.

Résultats et discussion

Les résultats présentés au tableau 1 montrent que le volume et le pourcentage volumique de muscle mesurés par I.R.M dans la carcasse sont très bien corrélés avec le poids et le pourcentage massique obtenus par dissection ($r^2=0.993$ et 0.982 respectivement), avec une erreur type de prédiction de 361 g et 1.19 % pour des données moyennes de 20 873g et 49.6 %. En ce qui concerne les pièces, la meilleure prédiction est obtenue dans le jambon pour le poids et dans le rein pour le pourcentage de muscle. Les différences du coefficient de détermination pour la prédiction du poids et la prédiction du pourcentage s'expliquent par l'incertitude de mesure du volume de la pièce et par la relation non linéaire liant le volume de la pièce à son poids du fait des densités différentes des tissus

	Relation avec le poids de muscle			Relation avec le pourcentage de muscle		
	R^2	Erreur-type (g)	Poids moyen de muscle (g)	R^2	Erreur-type (%)	Pourcentage de muscle moyen (%)
½ carcasse	0,993	361	20 873	0,982	1,19	49,6
Jambon	0,997	82	6 130	0,970	1,29	62,0
Epaule	0,978	129	4 655	0,957	1,55	45,0
Poitrine	0,970	81	2 671	0,977	1,48	43,9
Rein	0,995	122	7 248	0,987	1,12	49,3

Tableau 1 : Relations entre les volumes ou pourcentages volumiques (I.R.M.) et les poids ou pourcentages massiques (dissection) de muscle dans la carcasse et les pièces de découpe.

Les résultats présentés au tableau 2 montrent que le volume et le pourcentage volumique de tissu adipeux total mesurés par I.R.M dans la carcasse sont bien corrélés avec le poids et le pourcentage massique obtenus par dissection ($r^2=0.978$ et 0.984 respectivement), avec une erreur type de prédiction de 498 g et 1.09 % pour des données moyennes de 12 444g et 29.9 %. En ce qui concerne les pièces, la meilleure prédiction est obtenue dans le rein à la fois pour le poids et pour le pourcentage de tissu adipeux total.

	Relation avec le poids de tissu adipeux total			Relation avec le pourcentage de tissu adipeux total		
	R^2	Erreur-type (g)	Poids moyen de tissu adipeux total (g)	R^2	Erreur-type (%)	Pourcentage de tissu adipeux total moyen (%)
½ carcasse	0,978	498	12 444	0,984	1,09	29,9
Jambon	0,897	143	1 924	0,955	1,37	20,2
Epaule	0,877	292	3 265	0,951	1,86	31,7
Poitrine	0,962	152	2 738	0,960	1,81	43,7
Rein	0,980	203	4 516	0,985	1,27	31,0

Tableau 2 : Relations entre les volumes ou pourcentages volumiques (I.R.M.) et les poids ou pourcentages massiques (dissection) de tissu adipeux total dans la carcasse et les pièces de découpe.

Le protocole d'acquisition I.R.M. et d'analyse d'images que nous avons mis en place donne de très bonnes estimations des données de dissection, avec des coefficients de détermination qui sont toujours supérieur à 0.87. La moins bonne précision obtenue pour le tissu adipeux comparativement au muscle tient au fait que la moelle osseuse et une partie des os donnent un signal IRM équivalent à celui du tissu adipeux et de ce fait ne sont pas distingués de ce tissu par l'algorithme d'analyse d'image. Cette imprécision explique également la prédiction relativement moins bonne des tissus adipeux dans le jambon. En effet, dans cette pièce où le tissu adipeux est moins développé, le volume d'os, de par la présence du fémur, est non négligeable. Enfin le cas de l'épaule, où la détection est globalement un peu moins bonne dans tous les cas, s'explique par la complexité morphologique de la pièce qui engendre des images plus difficiles à analyser et sa conformation qui empêche un positionnement adéquat dans l'imageur, qui consisterait à obtenir des images perpendiculaires à l'orientation principale des tissus.

Conclusion

Notre travail tend à prouver que l'I.R.M, couplée à une analyse des images adaptée, est une méthode prometteuse pour la quantification de tissus. En effet, les résultats obtenus dans cette étude sur des génotypes très différents montrent que cette méthode devrait pouvoir se substituer à la dissection dans un cadre de recherche. En effet, elle ne détruit pas les pièces ni les tissus et pourrait même à l'avenir être utilisée pour des études in vivo sur des suivis de développement tissulaire. Nous poursuivons ce travail par la séparation sur les images des tissus adipeux sous-cutané et intermusculaire afin d'apprécier la qualité de l'estimation du tissu adipeux intermusculaire, peu étudié et difficile d'accès autrement que par dissection.

Références

- Deriche R., 1987. Int. J. Comput. Vis., 1, 2, 167-187;
Malleylan-Toussaint C. 2002. Thèse faculté des sciences et techniques, Nantes
Metayer A., Dumas G., 1998. Journées Rech. Porcine en France, 30, 7-11 ;
Shattuck D. W., Sandor-Leahy S. R., Schaper K. A., Rottenberg D. A., Leahy R. M., 2001. NeuroImage, 13, 5, 856-876;

IDENTIFICATION PAR TECHNIQUE ELISA DES ESPECES ANIMALES DANS LES PRODUITS CARNES TRANSFORMES

GIOVANNACCI I., GUIZARD C., CARLIER M., DUVAL V.,
MARTIN J.L., DEMEULEMESTER C.

CTSCCV (Centre Technique de la Salaison, de la Charcuterie et des Conserves de Viandes)
7, avenue du Général De Gaulle - F94704 Maisons-Alfort Cedex

Introduction

La possibilité de substituer dans les produits carnés des espèces animales par d'autres conduit à la nécessité de disposer de méthodes fiables et spécifiques pour les identifier. Ces méthodes sont utiles en terme de santé publique ainsi que pour des raisons éthiques et religieuses. Elles sont nécessaires pour vérifier la conformité des étiquetages et garantir la loyauté des transactions commerciales [1]. Le laboratoire de biochimie du CTSCCV est accrédité par le Cofrac (Comité français d'accréditation) pour l'identification du porc, du bœuf et de la volaille dans les produits carnés (portée communicable sur demande). La technique utilisée est un ELISA disponible en coffrets. Le domaine d'application couvre les préparations de viandes, les produits à base de viande et les plats cuisinés à base de viandes à l'exception des sauces à base de tomate. Quarante conserves du commerce ont été analysées par cette technique. Des recherches de lait et d'œuf ont également été effectuées car les ingrédients dérivés du lait et de l'œuf comptent parmi les principales sources d'allergènes alimentaires, comme le soja, l'arachide et le gluten.

Matériel et méthodes

Produits du commerce. Quarante conserves du commerce, achetées en France et dans d'autres pays, ont été choisies pour la complexité de leur formulation d'après les étiquettes et les traitements technologiques subis (tableau I). Certaines ont été volontairement choisies car elles présentaient une grande probabilité de comporter des erreurs d'étiquetage. Les produits 1 à 20 étaient fabriqués et commercialisés en France ; les produits 21 à 40, dans d'autres pays (Argentine, Autriche, Brésil, Danemark, Ethiopie, Finlande, Grèce, Hongrie, Inde, Norvège, Pologne, Espagne et Royaume Uni).

Immunodétection. Les recherches de bœuf, de porc, de mouton et de volaille ont été réalisées à l'aide des coffrets Tepnel (ref. CO 911Q, 912N, 913L, 922K, 923H, 972Y, Deeside, RU) conformément aux instructions du fabricant et du « guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre des techniques ELISA dans le domaine alimentaire » (Afnor, NF V 04-421, 2002). Les techniques de détection de l'œuf et du lait ont été décrites précédemment [2, 3, 4].

Facteur F. Pour chaque recherche d'espèce, des valeurs seuils ont été déterminées après le choix d'un facteur F spécifique pour chaque espèce, choisi pour être le meilleur compromis entre résultats faussement positifs et faussement négatifs, sur la base des résultats obtenus pour des produits de référence fabriqués au laboratoire expérimental du CTSCCV [5]. Les facteurs F ainsi validés sont 2,5 pour le bœuf et la volaille et de 4 pour le mouton. Pour le porc, deux facteurs F ont été retenus : 2,5 pour les produits Halal et Kashar, de façon à diminuer la possibilité de rendre des résultats faussement négatifs, et de 3 pour les autres produits, de façon à limiter les résultats faussement positifs. La valeur seuil est le produit de la moyenne des témoins négatifs du test par le facteur F.

Résultats et discussion

Les résultats de recherche des espèces (bœuf, porc, mouton et volaille) et des liants protéiques d'origine animale (œuf et lait) dans les 40 produits commerciaux en conserve sont présentés dans le tableau I.

Protéines d'origine animale. Dans chacune des 40 conserves, la présence d'au moins une espèce animale a été détectée. Le lait et l'œuf ont été détectés dans quelques produits.

Réactions croisées. Aucune réaction croisée n'a été observée entre le bœuf et le lait, ni entre la volaille et l'œuf.

Détectations conformes aux étiquetages. Les résultats ont été entièrement conformes aux étiquetages pour 20 produits : 2, 4 à 8, 10, 15, 17 à 20, 24, 26 et 27, 30, 37 à 40.

Ingrédients représentant moins de 25% du produit fini. Le farci (produit 9) et les saucisses (produits 11 et 16) contenaient respectivement des protéines de porc et de volaille non mentionnées. Cependant les étiquetages de ces produits étaient conformes à la réglementation alors en vigueur (Directive 2000/13/CE) car ces ingrédients représentaient moins de 25% du produit total. Ce seuil a été fixé à 2% dans le cadre de la nouvelle directive européenne (Directive 2003/89/CE).

Défauts d'étiquetage. La volaille dans 5 produits (1, 3, 13, 22 et 23), le mouton dans le produit 28, porc dans 4 produits (21, 25, 32, 34) et le bœuf dans le produit 29 ont été détectés alors qu'ils ne figuraient pas sur les étiquettes. De même, le lait a été détecté dans les produits 3, 4 et 25. La volaille (produits 21 et 38), le mouton (produit 14) et le bœuf (produits 12, 31 et 39) n'ont pas été détectés alors qu'ils figuraient sur les étiquettes.

Produit N°	Dénomination	Espèces, ingrédients**, liants** protéiques animaux annoncés dans la liste des ingrédients	Espèces et liants** protéiques animaux retrouvés après analyse ELISA
1	Pâté au jambon	Porc / (œuf)	Porc / volaille / (œuf)
2*	Pâté de foie	Bœuf	Bœuf
3	Pâté de foie	Porc / (liant protéique)	Porc / volaille / (lait)
4	Pâté de campagne	Porc / (liant protéique)	Porc / (lait)
5	Pâté de volaille	Bœuf / volaille	Bœuf / volaille
6*	Rillettes de volaille	Volaille	Volaille
7	Rillettes de porc	Porc	Porc
8	Corned beef	Bœuf	Bœuf
9	Poule au pot	Poulet / (farci)	Porc / volaille
10	Quenelles de veau	Bœuf / (œuf)	Bœuf / (œuf)
11	Saucisses aux lentilles (saucisses)		Volaille
12*	Saucisses bœuf et volaille	Bœuf / volaille	Volaille / (œuf)
13*	Saucisses cocktail	Bœuf / (œuf)	Bœuf / volaille / (œuf)
14	Couscous	Bœuf / mouton / volaille	Bœuf / volaille
15	Ravioli	Bœuf / (lait)	Bœuf / (lait)
16	Choucroute garnie	Porc / (saucisses)	Porc / volaille / (lait)
17	Tripes à la mode de Caen	Bœuf	Bœuf
18*	Haricots au mouton	Mouton	Mouton
19	Sauce tomate à la volaille	Dinde	Volaille
20	Sauce tomate à la viande	Bœuf	Bœuf
21	Viandada	Bœuf / volaille	Bœuf / porc
22	Paté de figado	Bœuf / porc	Bœuf / porc / volaille
23	Paté de presunto	Bœuf / porc	Bœuf / porc / volaille
24	Picadillo de carne	Bœuf	Bœuf
25	Luncheon meat	Bœuf / (liant protéique)	Bœuf / porc / (lait)
26	Hot dog sausages	Porc (lait)	Porc / (lait)
27	Pate campaña	Porc / volaille / (lait / œuf)	Porc / volaille / (lait / œuf)
28	Leverpostei	Porc / anchois	Porc / mouton
29	Konserva Turystyczna	Porc	Bœuf / porc
30	Przysmak Sniadaniowy	Bœuf / porc	Bœuf / porc
31	Luncheon meat	Bœuf / porc / (lait)	Porc / (lait)
32	Kalbsleber	Bœuf	Bœuf / porc / (lait)
33	Leberbrot	non étiquetée	Bœuf / porc / (lait)
34	Beef pate	Bœuf / poulet	Bœuf / porc / volaille
35	Sian-Ja Naudanlihaa	Bœuf / porc / (lait)	Bœuf / porc / (lait)
36	Tavaszi Vagdalthús	Bœuf / porc / volaille	Bœuf / porc / volaille
37	Különleges Vagdalthús	Bœuf / porc / volaille	Bœuf / porc / volaille
38	Magyaros Vagdalthús	Bœuf / porc / volaille	Bœuf / porc
39	Ragù alla bolognese	Bœuf / porc	Porc
40	Jambonet	Bœuf / porc / (lait)	Bœuf / porc / (lait)

Tableau I. Identification des espèces et des liants protéiques animaux dans les conserves du commerce. * : produits Kasher ou Halal. ** : les ingrédients et les liants protéiques d'origine animale sont indiqués entre parenthèses.

Conclusion

La méthode ELISA utilisée a permis de détecter les espèces animales dans les conserves du commerce, y compris dans celles ayant subi des traitements thermiques drastiques. Outre sa robustesse, cette technique présente l'avantage d'être facile d'emploi et peu onéreuse.

Les limites de détection dans les produits manufacturés dépendent de nombreux paramètres, tels que la proportion de matières grasses, les traitements thermiques, l'origine des muscles, la maturation des viandes... Ainsi, les limites de détection peuvent varier d'un produit à l'autre. Bien que quantitatives d'un point de vue théorique, les méthodes ELISA, de même que les méthodes basées sur la détection de l'ADN spécifique, fournissent des résultats qualitatifs.

Références

- [1] Méret V., Da-Riz V., Guizard C., Nguyen T.D., Demeulemester C., 1999. *Ann Fals Exp Chim*, 92, 495-511.
- [2] Demeulemester C., Lajon A., Abramowski V., Martin J.L., Durand P., 1991. *J Sci Food Agric*, 56, 325-333.
- [3] Demeulemester C., Guizard C., 1996. *Bull Liaison CTSCCV*, 1996, 6, 26-29.
- [4] Leduc V., Demeulemester C., Polack B., Guizard C., Le Guern L., Peltre G., 1999. *Allergy*, 54, 464-472.
- [5] Giovannacci I., Guizard C., Carlier M., Duval V., Martin J.L., Demeulemester C., 2004. *Int J Food Sci Techn*, 39, 1-5.

Sécurité sanitaire des produits carnés

Animateurs

FRAVALO P.
FRENCIA JP.

AFSSA Ploufragan
ADIV

Conférences

Session 5

|

|

RECHERCHE DE L'ORIGINE ANIMALE DE SALMONELLOSES HUMAINES A *SALMONELLA* TYPHIMURIUM PAR CARACTERISATION MOLECULAIRE

CHEMALY M., RIVOAL K., FRAVALO P., ERMEL G., HUMBERT F., SALVAT G.

AFSSA site de Ploufragan

¹Unité d'Hygiène et Qualité des Produits Avicoles et Porcins

B.P. 53, 22440 Ploufragan

Introduction

Le genre *Salmonella* occupe une importance considérable tant sur le plan de la santé humaine provoquant des toxi-infections alimentaires que sur celui de la santé animale, entraînant une perte économique conséquente. Les infections à *Salmonella* constituent l'une des causes les plus fréquentes de toxi-infections alimentaires collectives et de diarrhée aiguë bactérienne. *Salmonella enterica* subsp. *enterica* sérovar Typhimurium (*S. Typhimurium*) est largement répandue dans les différents réservoirs animaux (porcs, bovins, volailles...) et dans certaines denrées destinées à l'homme (BRS, 2004). Il figure en deuxième position des sérotypes les plus fréquemment isolés chez l'homme en France (Haeghebaert *et al.*, 2002). Ce sérovar est dit ubiquiste car il colonise indifféremment certaines espèces animales et l'homme.

Les systèmes de surveillance qui fonctionnent actuellement ne permettent pas d'évaluer les parts respectives des différentes sources animales potentielles. Il est donc difficile d'envisager des actions correctives en matière de prophylaxie ciblée sur le secteur de production qui représente le plus de risque pour l'homme. L'identification des souches de *Salmonella* responsables des cas humains et isolées dans les filières animales nécessite l'utilisation de méthodes à fort pouvoir discriminant et de mises en œuvre suffisamment simple et rapide pour être appliquées à un grand nombre d'isolats. La macrorestriction suivie d'une électrophorèse en champs pulsés « Pulsed-Field Gel Electrophoresis, PFGE » est devenue une technique de référence de par son pouvoir discriminant et sa reproductibilité. Elle est fréquemment utilisée en épidémiologie pour le typage d'isolats d'origines variées (Boonmar *et al.*, 1998 ; Laconcha *et al.*, 2000 ; Giovannacci, 2001 ; Tsen *et al.*, 2002) ou pour étudier la variabilité génétique de *Salmonella* (Barbezange *et al.*, 2000 ; Edwards *et al.*, 2001 ; Murphy *et al.*, 2001). C'est la méthode de choix pour déterminer l'origine de la transmission de *Salmonella* de l'animal à l'homme.

Matériel et méthodes

Les isolats

La collection d'isolats de *S. Typhimurium* est constituée par des isolats d'origines aviaire (89), porcine (123), bovine (94) et humaine (107). 413 isolats sont récoltés au total. Les isolats d'origines animales sont récoltés au cours d'enquêtes de terrain couvrant la majorité du territoire français et complétés par des isolats issus de couvoirs ou de groupements des filières. Les isolats humains sont récoltés auprès des hôpitaux de l'ouest et du Centre National de Référence des *Salmonella* et *Shigella* (CNRSS). La période d'isolement est située entre 1997 et 2003. Ces isolats sont maintenus sur une gélose de conservation (Bio-Rad, USA) puis repiqués sur PCA et incubés à 37°C pendant 24 h pour le typage moléculaire.

Macrorestriction et électrophorèse en champs pulsé

A partir d'une culture pure sur PCA, une colonie est repiquée sur bouillon LB (Luria-Bertani broth de composition : 10 g bactotryptone, 5 g extrait de levure, 10 g NaCl, pH 7) et incubée à 37°C pendant 16 h sous agitation. L'ADN bactérien est extrait à partir de cette culture puis préparé dans des blocs d'agarose selon la méthode de Ragimbeau *et al.* 1998. Le génome est ensuite digéré par *Xba*I (Roche diagnostics, France) à 37°C pendant 5 à 6 h. Après la digestion enzymatique, les blocs sont déposés dans les puits d'un gel d'agarose 1 % dans un tampon TBE 0,5X (Tris 0,5 M, acide borique 0,1 M, EDTA 0,2 mM, pH 8,0) pour une migration en électrophorèse en champs pulsé avec le système CHEF DRIII (contour Clamped Homogeneous Electric Field, Bio-Rad, USA). La migration est réalisée en deux étapes à 6,6 V. Le temps de pulse de la première étape est de 20 à 40 s pendant 12 h et la deuxième de 7 à 13 s pendant 10 h. La température du tampon de migration est maintenue à 14°C. L'ADN du phage Lambda (Bio-Rad, USA) est utilisé comme marqueur de taille moléculaire. Les gels sont colorés au bromure d'éthidium et les images sont prises par caméra sous lampe U.V. (Bioblock, France). Après une première analyse visuelle, l'analyse des similitudes a été effectuée au moyen du logiciel Bionumerics (Bio-Rad, USA). Les similitudes entre les profils, basées sur la position du fragment restreint sont calculées selon le coefficient de Dice avec une tolérance maximale de 1,5 % (Struelens *et al.*, 1996). Des dendrogrammes ont été ensuite construits selon la méthode UPGMA (Struelens *et al.*, 1996). Un nouveau pulsotype est attribué à partir d'une bande de différence. L'indice de Simpson (Hunter et Gaston, 1988) est calculé afin d'estimer le pouvoir de discrimination de *Xba*I entre les différents groupes d'isolats et la variabilité génétique des isolats issus d'origine animale ou humaine.

Résultats

Analyse des profils génétiques

Parmi 107 isolats humains, *XbaI* a révélé 33 types différents classés de Xh1 à Xh33. Le pulsotype Xh1 prédomine avec 48 isolats soit 45 % des isolats typés. Sept isolats ont le pulsotype Xh9 représentant 6,5 % des isolats humains. Tous les autres pulsotypes regroupent entre un et trois isolats. Le pouvoir discriminant de *XbaI* est de 0,79 pour les isolats humains.

Les isolats aviaires présentent 20 pulsotypes différents avec *XbaI*. Le pulsotype Xv5 prédomine avec 24 isolats (soit 28 %) suivi du pulsotype Xv9 qui regroupe 14 isolats soit 16,5 % des isolats aviaires. Sept isolats ont un pulsotype commun Xv15 (8 % des isolats), 5 autres ont le pulsotype Xv20 (6 % des isolats) et les autres isolats présentent des pulsotypes différents. Le pouvoir discriminant de *XbaI* est de 0,89 pour les isolats aviaires.

Les 123 isolats porcins sont partagés en 21 pulsotypes différents par *XbaI* avec 58 isolats présentant le même pulsotype Xp2, soit 47 % des isolats. Quinze isolats ont un pulsotype commun Xp11 et 13 ont Xp8, soit 12 et 10 % respectivement. Un autre pulsotype Xp6 regroupe 7 isolats (5,7 %) et les autres restant regroupent entre un et trois isolats. Le pouvoir discriminant de *XbaI* est de 0,75 pour les isolats porcins.

	Humains	Aviaires	Porcins	Bovins
Isolats	107	85	123	94
Pulsotypes <i>XbaI</i>	33	20	21	12
Indice Simpson	0,79	0,89	0,75	0,31

Tableau 1- Résultats de la macrorestriction par *XbaI* des isolats d'origines animale et humaine et le pouvoir discriminant de cette enzyme en fonction des isolats.

Les isolats bovins au nombre de 94 sont répartis en 12 pulsotypes différents avec une prévalence du pulsotype Xb1 de 83 % soit 78 isolats. Les pulsotypes Xb4 et Xb11 regroupent 3 et 2 isolats respectivement. Les 9 isolats restant ont des pulsotypes différents. Le pouvoir discriminant de *XbaI* est de 0,31 pour les isolats bovins. Les résultats sont regroupés dans le tableau 1 ci-dessus.

Les résultats du génotypage des isolats, classés par groupe selon leur origine, montrent la prédominance au sein de chaque filière animale et chez les humains d'un pulsotype regroupant un nombre maximum d'isolats. L'analyse des similitudes des profils a permis de montrer que ce pulsotype est le même dans l'ensemble des filières étudiées (figure 1). Il s'agit en réalité d'un pulsotype commun circulant entre les différentes filières animales et les humains. Les différents dendrogrammes obtenus dans chaque filière, appuyés par le calcul de l'indice de Simpson permettent de constater que la variabilité génétique des isolats bovins est beaucoup moins importante que celle des autres isolats. Le dendrogramme montre une grande similitude entre les isolats bovins : 2 groupes sont obtenus avec un seuil de similitude de 77 % avec un troisième groupe représenté par un seul isolat lié aux autres à 71 % de similitude. En revanche, les isolats aviaires semblent avoir une diversité génétique plus importante que les autres isolats.

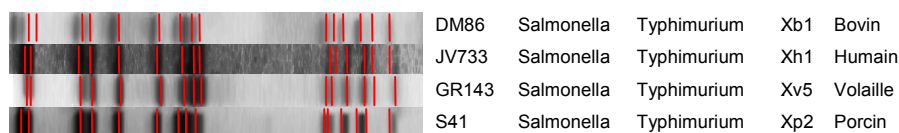


Figure 1- Profils génétiques du pulsotype prévalent dans chacune des filières animales et chez les humains.

De manière générale, les isolats humains et animaux sont proches du point de vue génétique car la majorité est regroupée dans des groupes à 80 % de similitude selon le dendrogramme général. La recherche de pulsotypes communs entre les isolats humains et animaux, en dehors du pulsotype prédominant cité auparavant permet de mettre en évidence en commun avec les isolats humains 3 pulsotypes porcins, 2 pulsotypes bovins (malgré la faible diversité observée) et 1 pulsotype aviaire.

Discussion

Ce travail entrepris dans le but de déterminer une ou plusieurs origines animales de *S. typhimurium* a permis de mettre en évidence un isolat prédominant qui circule entre les différentes filières animales et les humains, d'autres pulsotypes communs et des pulsotypes isolés plus spécifiques de chaque filière malgré l'étroite relation génétique entre eux. La prévalence d'un pulsotype commun de *S. typhimurium* entre les animaux et les humains a déjà été rapportée (Lailler *et al.*, 2002 ; Tsen *et al.*, 2002). Aujourd'hui, aucune étude n'a pu mettre en évidence la responsabilité d'une filière animale particulière dans la transmission de *S. Typhimurium* à l'homme. Cette étude montre la dissémination de *S. Typhimurium* dans les trois productions animales avec des pulsotypes communs entre les isolats animaux et humains : au nombre de 3 chez les porcins, 2 chez les bovins et 1 chez les aviaires. A la lumière de ces résultats, considérant le nombre de pulsotypes communs et la diversité génétique des isolats (faible chez les isolats bovins), les filières porcine et bovine représenteraient

plus de risque de transmission de ce sérovar à l'homme que la filière aviaire. Aujourd'hui, la filière avicole est la seule concernée par la réglementation européenne, la directive 92/117 déclinée dans le droit français par les arrêtés de 1998 relatifs à la lutte contre les infections à *S. Enteritidis* et *S. Typhimurium*. Selon, le nouveau règlement européen 2160/2003, sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques présents dans la chaîne alimentaire, la filière porcine sera également concernée à partir de 2007. Les résultats de cette étude seront complétés ou confirmés prochainement par l'obtention de nouveaux profils génétiques des mêmes génomes bactériens digérés par une deuxième enzyme *SpeI* et par la combinaison des profils obtenus par les deux enzymes. En effet, la combinaison de deux enzymes de restriction est importante car cela permet d'augmenter le pouvoir discriminant de la méthode de typage (Laconcha *et al.*, 2000 ; Giovannacci *et al.*, 2001 ; Tsen *et al.*, 2002), d'une part, et de minimiser les erreurs d'interprétation sur les affinités génétiques entre les isolats, d'autre part. Ceci est fort utile dans le cadre de cette étude visant à comparer entre eux des isolats issus d'origines différentes et ayant comme objectif l'identification d'isolats communs entre les animaux et les humains.

Remerciements

Merci à tous les fournisseurs de souches : Messieurs J. Vaucel et P. Pouedras, Madame F. Geffroy des Hôpitaux de l'ouest - Monsieur J.P. Flandrois du CH Lyon-Sud – Monsieur F.X. Weill de Institut Pasteur (LNR) – Madame D. Meunier de l'AFSSA Lyon - Messieurs J. Nail et F. Robert des Couvoirs et groupements avicoles – toute l'unité HQPAP.

Bibliographie

- Barbezange C., Ermel G., Ragimbeau C., Humbert F., Salvat G. 2000. FEMS Microbiol. Let. 192, 101-106.
- Boonmar S., Bangtrakulnonth A., Pornrunangwang S., Terajima J., Watanebe H., Kaneko KI., Ogawa M. 1998. J. Clin. Microbiol. 36, 971-974.
- Bulletin du Réseau *Salmonella*. 2004 premier trimestre, N°29.
- Edwards K., Linetsky I., Hueser C., Eisenstark A. 2001. FEMS Microbiol Let. 199, 215-219.
- Giovannacci I., Queguiner S., Ragimbeau C., Salvat G., Venduvre JL., Carlier V., and Ermel G., 2001. J. Appl. Microbiol. 90, 131-147.
- Haeghebaert S., Le Querrec F., Bouvet P., Gallay A., Espié E., Vaillant V. 2002. BEH. 50, 249-253.
- Hunter P.R., Gaston M.A. 1988. J. Clin. Microbiol. 26, 2465-2466.
- Laconcha I., Baggesen D.L., Rementeria A., Garaizar J. 2000. Vet. Microbiol. 75, 155-165.
- Lailler R., Grimont F., Jones Y., Sanders P., Brisabois A. 2002. Pathol. Biol. 50, 361-368.
- Murphy TM., McNamara E., Hill M., Rooney N., Barry J., Egan J., O'Connell A., O'Loughlin J., McFaddyen S. 2001. Epidemiol. Infect. 126, 3-9.
- Ragimbeau C., Salvat G., Colin P., Ermel G. 1998. Appl. Microbiol. 56, 301-303.
- Struelens M.J., Clin. Microbiol. Infect. 2, 2-11.
- Tsen H.Y., Hu H.H., Lin J.S., Huang C.H., Wang T.K. 2002. Food Microbiol. 17, 143-152.

|

|

POINTS DE REPERES EN MATIERE DE QUALITE MICROBIOLOGIQUE VIANDES BOVINES

CARTIER P.

INSTITUT DE L'ELEVAGE, Service Viande, Route d'Epinay
14310 VILLERS BOCAGE

Le présent article, propose un survol de l'ensemble de la filière viande bovine avec l'objectif d'une part d'évoquer, étape par étape, les principaux faits marquants en terme d'hygiène, et d'autre part de montrer que l'hygiène des viandes concerne l'ensemble des acteurs, de l'éleveur au consommateur.

Tout commence à la ferme

Les bactéries sont introduites dans la chaîne de transformation des viandes par les animaux eux-mêmes qui les véhiculent au niveau de leur tube digestif et de leur peau (ROSSET 1982, ROSSET et LIGER 1982, FOURNAUD 1982), éléments qui constituent les principales sources de contamination des carcasses au moment de l'abattage (FOURNAUD 1978, CARTIER 1997).

Portage microbien par les animaux vivants

Jusqu'alors, de nombreux travaux ont été consacrés au portage intestinal et à l'excrétion de germes pathogènes, en revanche le cuir des animaux n'a reçu que peu d'attention (CARTIER 1997). Le portage intestinal et l'excrétion concernent les salmonelles, *Listeria monocytogenes*, certaines souches de *E. coli* pathogènes, le phénomène le plus préoccupant est, semble-t-il, l'existence d'animaux porteurs sains, c'est à dire qui hébergent le germe sans manifestation de signes cliniques (voir par exemple LAVAL et al. 1997).

Le relargage massif de ces germes dans l'environnement constitue un potentiel énorme de contamination pour les cuirs. Cela pourrait expliquer les résultats d'essais où des recherches de salmonelles effectuées sur des cuirs de bovins ont abouti à 90% de résultats positifs ! (CARTIER 1993 a)

En ce qui concerne la flore banale, les rares données disponibles montrent que les cuirs portent de 10^3 à 10^9 germes / cm², selon le site anatomique considéré et que les plus fortes contaminations sont observées au niveau de la zone de couchage (ventre), probablement parce que le sol est la principale source de contamination des cuirs (CARTIER 1994). En outre des variations importantes d'un lot d'animaux à un autre ont été constatées. Il pourrait s'agir là d'une intervention des conditions d'élevage et/ou des conditions climatiques. Ces aspects ne sont pas connus (FOURNAUD 1978, CARTIER 1994).

Les préconisations qui peuvent être faites aujourd'hui au stade de l'élevage restent limitées.

Sur le plan des germes pathogènes, l'éleveur doit, bien sûr, veiller à l'état de santé de ses animaux. La question du repérage et de l'élimination des animaux porteurs sains est souvent soulevée. Indépendamment de l'impact économique d'une telle mesure, on peut s'interroger sur son efficacité réelle, lorsque, à l'image de la contamination salmonellique, la colonisation de l'environnement est importante et le portage par des animaux sauvages très fréquent.

La maîtrise raisonnée à chaque stade de la filière constitue donc le moyen logique pour réduire au maximum la contamination des viandes.

En ce qui concerne la flore banale, beaucoup reste à faire, et l'état de propreté des animaux livrés à l'abattoir reste un axe majeur d'amélioration. Sur ce plan des travaux sont actuellement en cours.

De la ferme à l'abattoir

Le transport des animaux de la ferme au lieu d'abattage offre des conditions favorables aux contaminations croisées entre animaux, et par suite à une relative homogénéisation des contaminations au sein du lot d'animaux (LAVAL et al. 1997).

L'importance réelle de ces phénomènes restent cependant à établir. Ainsi, sur la base des résultats expérimentaux actuellement disponibles, l'existence d'un lien étroit entre la contamination des cuirs avant et après transport plaide en faveur d'un rôle mineur des transferts de contamination des animaux les plus contaminés vers les animaux les moins contaminés (CARTIER 1994). En revanche, un nettoyage et une désinfection réguliers des camions doivent être pratiqués, de façon à ce qu'ils ne deviennent pas une source majeure de contamination.

L'abattoir reste le point critique majeur : le dépôt des germes sur les masses musculaires nouvellement mises à nu est difficilement évitable.

La tâche de l'abatteur : un pari fou sur le plan hygiénique

Sur le plan hygiénique, la tâche de l'abatteur est extrêmement délicate. Il s'agit en effet de séparer la carcasse de deux éléments fortement contaminés : le cuir d'une part, le tractus digestif d'autre part. Inévitablement, ces 2 éléments vont constituer la principale source de contamination des carcasses, à hauteur d'environ 60% pour le cuir et 10% pour le tractus digestif (FOURNAUD 1978, CARTIER 1997). Toute la difficulté sera de faire en sorte que les transferts des éléments pollués vers les masses musculaires jusqu'alors stériles, soient infimes. Un cuir présente environ 10^9 germes/cm², une carcasse en fin de chaîne d'abattage est de qualité hygiénique correcte si elle présente 10^3 germes/cm². Les transferts de contamination ne doivent donc pas concerner plus d'une bactérie sur 1 000 000 ! Or, la succession des opérations d'abattage offre une multitude de possibilités de contacts directs (retournement du cuir, ...) indirects (via le matériel, les hommes, ...) entre les masses musculaires et les éléments contaminés. Chacun de ces contacts entraîne le dépôt de plusieurs millions de germes en surface des carcasses !

Côté tube digestif : des éléments de maîtrise

Il ne faut surtout pas que l'opérateur chargé de l'ouverture de la cavité abdominale perce la paroi du tube digestif. L'utilisation d'un couteau à bout rond, le maintien de la peau en position tendue et le fait que l'animal n'ait pas été alimenté dans les heures qui précèdent l'abattage pourront l'y aider. En second lieu, la ligature du tube digestif en ses 2 extrémités (rectum, oesophage) et l'isolement du rectum dans un sac plastique est très souhaitable pour minimiser le risque de contamination des carcasses par le contenu des viscères (CARTIER 1997, CERTIVIANDE 2004).

Côté cuir : la dépouille hygiénique a des limites

C'est, bien sûr, lors de la dépouille que s'effectue l'essentiel du transfert des germes du cuir à la carcasse (FOURNAUD 1978, CARTIER 1997, CERTIVIANDE 2004). C'est donc naturellement à ce stade qu'il est recherché des éléments de maîtrise (CERTIVIANDE 2004). Cela n'est pas aisé car la dépouille regroupe une succession d'opérations très manuelles. De plus, la plupart d'entre-elles exige de manipuler à la fois le cuir et les masses musculaires d'où un risque d'ensemencement de ces dernières par les mains, les couteaux, les outils. C'est pourquoi aujourd'hui l'hygiène de la dépouille repose d'abord sur la pratique du nettoyage et de la désinfection du matériel, si possible entre chaque carcasse, et sur la « spécialisation » des mains et des outils (une main affectée au maniement du cuir, l'autre à la manipulation de la carcasse) (CERTIVIANDE 2004). La phase ultime de la dépouille (l'ablation du cuir au niveau du dos) est mécanisée. Cependant, ce poste pose des problèmes particuliers : l'arrachage du cuir induit une remise en suspension des particules et des bactéries dans l'environnement et favorise ainsi leur dépôt sur les masses musculaires dénudées.

En fait, l'organisation de la dépouille des bovins, telle que conçue aujourd'hui, n'est probablement pas plus hygiénique que les façons de faire du siècle dernier (dépouille sur berce). Son intérêt réside cependant dans le fait qu'elle permette d'obtenir des carcasses bactériologiquement correctes avec des fréquences d'abattage pouvant atteindre 80 bovins à l'heure. Mais ceci n'est vrai qu'avec un strict respect des mesures d'hygiène précédemment énoncées. Depuis 1996, la mise en place de l'HACCP a conduit à une plus grande rigueur dans l'application effective de ces mesures. Elles ne permettent cependant pas d'obtenir, à tout coup, des carcasses de qualité hygiénique irréprochable. Ainsi par exemple, la contamination salmonellique des carcasses bovines se situe au voisinage de 5% (voir par exemple CARTIER 1997). A l'avenir, un abaissement significatif de ce chiffre par le seul renforcement des mesures évoquées jusqu'alors sera extrêmement difficile.

S'attaquer aux racines du mal en agissant sur les carcasses non dépouillées

Si la source de contamination que constitue le cuir est parfaitement identifiée, trop peu de mesures visent aujourd'hui à agir à ce niveau, pourtant le potentiel d'amélioration est ici considérable.

Le fait de sensibiliser les opérateurs d'amont sur l'importance de fournir des animaux physiquement propres a été évoqué précédemment. Ces mesures ne seront toutefois véritablement efficaces que si de la réception des animaux jusqu'à l'arrachage final du cuir, des mesures sont également prises pour maintenir les cuirs dans un état de propreté correct. Au niveau de la bouverie, cela suppose une conception adaptée à l'élimination des fèces et urines (pente suffisante au niveau du sol, ...), la pratique effective du nettoyage et de la désinfection, le stockage des animaux en logettes individuelles de façon à limiter les risques de contaminations croisées, la possibilité de trier et d'isoler les animaux particulièrement sales de façon à les abattre en fin de journée. Ceci dit, le risque d'auto-contamination des animaux par leurs propres fèces demeure. Par ailleurs, au niveau du couloir d'amenée, du système de contention et surtout de l'aire d'affalage, les contaminations croisées entre animaux sont difficilement évitables.

La possibilité de nettoyer, voire de décontaminer, le cuir des animaux a fait l'objet de quelques publications (EMPTÉY et SCOTT 1939, CARTIER 2003). Expérimenté sur des animaux vivants, le lavage des cuirs s'avère efficace sur le plan bactérien, mais présente deux inconvénients qui rendent cette pratique rédhibitoire : il est générateur de stress et doit être

suivi d'un séchage (EMPTEY et SCOTT 1939). Le traitement des animaux en début de chaîne d'abattage (au niveau du poste d'égouttage) a révélé de réelles possibilités, sans toutefois que le procédé ait pu être testé en grandeur nature (CARTIER 2003).

Décontaminer les carcasses : l'ultime solution ? oui ... mais ...

L'ultime piste d'amélioration de la qualité hygiénique des carcasses consiste à agir directement sur le produit, en procédant à un traitement décontaminant en fin de chaîne. Cette pratique qui, jusqu'alors, n'est pas autorisée en Europe, a fait l'objet de nombreuses investigations. Ainsi, la littérature scientifique fait état d'une multitude d'approches visant à décontaminer les produits carnés, mettant en oeuvre ou non des composés chimiques (acides organiques, bases, hypochlorite...). A ce jour, l'emploi de vapeur, éventuellement associé à un choc thermique, reste le procédé le plus prometteur et peut être le plus « naturel ». L'efficacité de tels traitements, dans des conditions industrielles d'utilisation, et en absence de toute altération (visuelle notamment) des carcasses, et par suite des viandes, reste à établir.

En fin de chaîne d'abattage : le froid pour freiner la multiplication des germes.

Le refroidissement des carcasses, appelé aussi ressuage, a pour but de ramener leur température de 35-38°C (température en fin de chaîne d'abattage) à une température \square 7°C à cœur. Sur le plan hygiénique, la croissance des microorganismes sera d'autant plus limitée que le refroidissement sera précoce et rapide (FRENCIA 1993, CERTIVIANDE 2004). Cependant, une réfrigération trop rapide entraîne une contraction des fibres musculaires qui est responsable d'un durcissement irréversible de la viande. En pratique, on retiendra que la température des muscles ne doit pas descendre en-dessous de 10°C en moins de 10 heures. La réfrigération optimale est donc, en finale, un compromis entre une réfrigération suffisamment lente pour éviter la contraction au froid, et suffisamment rapide pour maîtriser le risque microbiologique. C'est pourquoi les procédés de ressuage actuels mettent fréquemment en oeuvre plusieurs phases de refroidissement successives, l'optique étant de refroidir très rapidement la surface des carcasses (maîtrise du risque hygiénique) puis d'assurer une diminution plus progressive de la température à cœur des muscles (maîtrise du risque de contracture au froid).

En découpe et fabrication : une multitude d'événements vont interagir pour fixer la charge bactérienne des viandes

Le fait marquant : la redistribution des germes

La découpe va d'abord induire une profonde redistribution des bactéries. Exclusivement présents en surface des carcasses, les germes vont alors coloniser les surfaces nouvellement mises à nu par le travail des viandes (CARTIER 1999). Les nombreux contacts dont font l'objet les pièces de découpe (contact avec les autres pièces, les tables, les outils, les opérateurs...) jouent un rôle majeur dans cette redistribution (CARTIER 1997, CARTIER 1999).

Elimination, apport et multiplication des germes

D'autres événements vont conduire à une modification des charges bactériennes des produits. Ainsi, certaines opérations (parage superficiel, épluchage) peuvent induire une diminution du niveau de contamination des pièces (CARTIER 1999). L'éventualité la plus probable reste cependant une augmentation du nombre de germes, soit par des apports externes (apport de germes par les outils, le personnel, le local, ...), soit par les phénomènes de multiplication bactérienne.

Pas de réelle hiérarchisation des facteurs de risque

Si l'intervention des facteurs listés précédemment sur l'hygiène des pièces de découpe ne fait pas de doute, en revanche, l'importance relative de chacun d'entre eux reste totalement à établir (CARTIER 1997). C'est pourquoi, en terme de maîtrise, les opérateurs se doivent de prendre en compte, de façon exhaustive et sur le même plan, tous les facteurs qui, a priori, peuvent jouer sur la qualité hygiénique des viandes (CERTIVIANDE 1996). Les préconisations à suivre concernent donc l'hygiène des locaux, du personnel, du matériel, la pratique du nettoyage et de la désinfection, l'hygiène des manipulations, la qualité de la matière première, le respect de la chaîne de froid, la maîtrise des techniques de conditionnement (CERTIVIANDE 1996).

La limitation des contaminations croisées entre pièces (par contact direct ou par l'intermédiaire du matériel et des supports) est probablement un des aspects les plus problématiques. D'une séance de découpe à une autre, les procédures de nettoyage désinfection permettent bien sûr de limiter les contaminations croisées (CERTIVIANDE 1996). En revanche, au cours de la même séance il faut admettre que les contaminations croisées sont inévitables. Il ne peut pas en être autrement, à partir du moment où des pièces de qualité hygiénique très différentes passent par les mains (et par les outils) des mêmes opérateurs et transitent sur un même tapis. Seule une planification rationnelle du travail (découpe des lots du moins au plus contaminés) ainsi que des « mesures d'urgence » (procédures en cas d'abcès, viande tombée à terre, présence d'une carcasse particulièrement souillée, ...) sont envisageables (CERTIVIANDE 1996).

Le cas particulier des viandes hachées.

Les viandes hachées ont toujours été considérées comme des produits à risque sur le plan hygiénique car, de par leur structure, elles sont contaminées à cœur. Ainsi, contrairement au piécé, les viandes hachées peu cuites resteront contaminées à cœur (cf. ci-après) et peuvent donc présenter un risque. C'est pourquoi, les viandes hachées ont toujours fait l'objet d'une réglementation à part, très stricte et d'une attention toute particulière de la part des fabricants. Aujourd'hui, la qualité hygiénique des matières premières mises en oeuvre explique l'essentiel des écarts de contamination observés d'une fabrication à une autre et constitue donc le premier élément de maîtrise de cette production (CARTIER 1993b, BASTIEN 1996).

Au stade de la vente : la maîtrise des développements bactériens reste la priorité.

Les risques de contaminations des viandes par suite des manipulations (tranchage, bardage, ficelage, conditionnement, ...) ou des contacts éventuels avec d'autres produits (volailles, gibiers, abats, ...) sont très présents au stade de la vente, notamment pour la vente assistée (rayon traditionnel des GMS, boucherie artisanale) car les produits ne sont pas protégés par un conditionnement. C'est pourquoi, là aussi, les principes d'hygiène du personnel, des locaux, du matériel, la pratique du nettoyage et de la désinfection, seront-ils à la base de la maîtrise de l'hygiène, avec des modalités d'application forcément adaptées à ce secteur d'activité (CNBCT 1999).

Ceci étant, l'augmentation de la charge bactérienne des produits au delà de seuils jugés inacceptables constitue le risque majeur.

Entre la mise en vente des produits et leur achat par un consommateur, la charge bactérienne ne peut que s'accroître par suite des développements bactériens. Cette évolution est fonction du type de conditionnement employé et de la température. En conséquence, la mise en oeuvre correcte des techniques de conditionnement (pas de film déchiré, pas de sous-vide fuité) associée au strict respect de la chaîne du froid (conception et chargement des linéaires) sont extrêmement importantes pour la qualité microbiologique des produits sur le lieu de vente. Ces deux éléments étant maîtrisés, la charge bactérienne deviendra alors étroite-ment liée au critère « durée ». Cependant, même avec des conditions rigoureuses de stockage, au-delà d'un certain temps, le nombre de microorganismes atteindra un niveau inacceptable. C'est pourquoi est définie, pour la majorité des produits, une Date Limite de Consommation (DLC).

Cette DLC est sous la responsabilité du dernier opérateur qui a manipulé le produit à nu, c'est à dire, le conditionneur. Cette responsabilité incombe donc aux industriels ou aux distributeurs. De façon à garantir du bien fondé des DLC retenues, ces opérateurs doivent soumettre leurs produits à des tests de vieillissement. Les conditions de réalisation de ces derniers (températures de conservation des produits, germes pris en compte, etc) font l'objet de recommandations professionnelles (CERTIVIANDE 2000). En outre, pour certains micro-organismes (*Listeria Monocytogenes*) ces tests de vieillissements pourraient être complétés par des tests de croissance également appelés Challenges Tests (CARTIER 2004). Dans tous les cas, le conditionneur doit faire figurer clairement la DLC sur les barquettes. Le distributeur, quant à lui, doit respecter la DLC sur laquelle le conditionneur s'est engagé. Cela suppose une gestion rigoureuse de l'approvisionnement du linéaire et l'élimination des invendus ayant atteint la DLC (CNBCT 1999). Enfin, s'il procède au reconditionnement des produits (la « remballage »), il doit le faire exceptionnellement et honnêtement, c'est à dire uniquement pour des produits qui n'ont pas quitté le linéaire et dont la présentation n'est plus conforme (étiquette arrachée, erreur d'étiquetage, ...).

Le consommateur : exigeant mais parfois négligeant

Le consommateur exige, à juste titre, que les professionnels de l'agro-alimentaire mettent tout en oeuvre pour proposer des produits sains. Pourtant, il ignore souvent qu'il peut être, lui-même, à l'origine d'une altération de la qualité des produits et, tout particulièrement, sur le plan microbiologique. Ainsi, chacun doit prendre un minimum de précautions, tant au niveau de l'achat, de la conservation que de la consommation des produits (DGAL 1997).

Lors de l'achat : vérifier la DLC des produits et réduire les ruptures de chaîne du froid

Au moment de l'achat, les produits vont inévitablement subir une rupture de la chaîne du froid, d'où une possibilité de reprise (ou d'accélération) des développements bactériens. Le consommateur doit faire en sorte que cette rupture reste sans conséquence néfaste sur la qualité microbiologique des produits. Pour cela, il devra veiller à ce que le maintien des viandes à température ambiante soit bref. Ceci suppose, par exemple :

- être rationnel dans ses achats, en achetant d'abord les aliments stockés à température ambiante (conserves, épices, légumes) puis les produits congelés et surgelés et enfin, les produits réfrigérés.
- s'organiser de façon à ce que le retour à la maison se fasse directement dès la fin des courses.
- utiliser impérativement des sacs isothermes, surtout en période estivale.

En outre, lorsque l'achat a lieu en libre service, le consommateur doit veiller à ne pas choisir des produits défectueux. Il faut vérifier que la date limite de consommation (DLC), impérativement indiquée, ne soit pas dépassée et que le conditionnement soit intact. On peut aussi jeter un coup d'œil sur la température du linéaire (voir par exemple DGAL 1997).

Une fois rentré à son domicile, il faut rapidement placer les viandes au réfrigérateur (ou au congélateur s'il s'agit d'un produit surgelé). On doit toujours stocker les viandes dans la partie la plus froide du réfrigérateur, généralement la plus

haute. En outre, il faut que celui-ci soit réglé, de façon à assurer une température au voisinage de 3-4°C, ce qui, à l'évidence, est rarement le cas. Il faut être attentif au risque de contaminations croisées, en évitant de stocker des produits souillés (légumes terreux p. ex.) et en nettoyant régulièrement le réfrigérateur avec de l'eau de javel. Enfin, il est conseillé de conserver la viande dans son conditionnement d'origine.

La cuisson détruit les microorganismes, mais attention aux viandes hachées

Outre ses effets sur les qualités organoleptiques des viandes, la cuisson induit une destruction massive des microorganismes. On aura donc tout intérêt à bien cuire un produit jugé douteux (produit acheté depuis plusieurs jours et pour lequel la DLC serait dépassée).

En outre, pour la viande en l'état, il n'est pas nécessaire de recourir à une cuisson poussée (« bien cuit ») pour bénéficier de l'effet bactéricide de la cuisson. En effet, la viande en l'état n'est contaminée qu'en surface, de sorte qu'un passage (même bref) dans de la matière grasse chauffée ou sur un grill brûlant suffit à détruire la majorité des microorganismes.

Il n'en est pas de même pour les viandes hachées car ces produits sont contaminés à cœur. En conséquence, dans ce cas, il n'est pas possible de concilier à la fois, la destruction des germes par la chaleur, et l'obtention d'un degré de cuisson de type « bleu » (moins de 50°C à cœur), cher au consommateur français. La mise en cause des viandes hachées dans des toxi-infections alimentaires reste cependant très faible en France.

Références Bibliographiques

- BASTIEN D. 1996. Evaluation du pouvoir contaminant en fabrication de viande hachée. Compte rendu d'étude. Interbev – Institut de l'Elevage.
- CARTIER P. 1993a. Viandes et produits carnés, 14, 35-38
- CARTIER P. 1993b. Viandes et produits carnés, 14, 127-130
- CARTIER P. 1994. Hygiène en amont de l'abattage. Evolution de la charge bactérienne et de l'état de propreté de cuirs de gros bovins de la ferme au poste de dépouille. Compte rendu d'étude. Interbev – Institut de l'Elevage.
- CARTIER P. 1997. Le point sur de la qualité microbiologique de la viande bovine. Collection Interbev « le point sur »
- CARTIER P. 1999. Plans de contrôle bactériologique en abattoir et en atelier de découpe bovins : rationalisation et validation statistique des procédures à mettre en œuvre. Compte rendu d'étude. Interbev – Institut de l'Elevage.
- CARTIER P. 2003. Etude de la faisabilité du nettoyage et de la désinfection des cuirs de gros bovins avant dépouille. Compte rendu programme AQS – Confidentiel.
- CARTIER P. 2004. Croissance de *Listeria Monocytogenes* sur viandes bovines. Compte rendu d'étude. Interbev – Institut de l'Elevage – Confidentiel.
- CERTIVIANDE 1996. Guide de Bonnes Pratiques Hygiéniques en découpe de gros bovins
- CERTIVIANDE 2000. Lignes directrices des tests de validation des Dates Limites de Consommation (DLC) pour le secteur des viandes de boucherie.
- CERTIVIANDE 2004. Guide de Bonnes Pratiques Hygiéniques en abattage de bovins. En cours de publication.
- CNBCT 1999. Guide de Bonnes Pratiques Hygiéniques Boucher. Les éditions des journaux officiels. 267 pp.
- DGAL 1997. Comment choisir et déguster des aliments de qualité en toute sécurité. 33 pp
- EMPTY W. A et SCOTT W. J 1939. Bull Counc Sci – Industr. Res Audi n°126
- FRENCIA J. P. 1993. Le point sur le froid et la viande. Collection Interbev « Le point sur »
- FOURNAUD J. 1978. Filière viande, 3, 15 – 20.
- FOURNAUD J. 1982. Contamination aux différents stades. In « Hygiène et technologie de la viande fraîche ». Edition du CNRS.
- LAVAL. A. FOURNAUD F. CARTIER P. 1997. Salmonellose et filière viande bovine. Séminaire Salmonelles et Ruminants. Paris.
- ROSSET R. 1982. Etat des animaux avant abattage. In « Hygiène et technologie de la viande fraîche ». Edition du CNRS.
- ROSSET R. et LIGER R. 1982. Nature des porteurs de germes. In « Hygiène et technologie de la viande fraîche ». Edition du CNRS.

Communications orales

Session 5

|

|

CINETIQUES DE DESTRUCTION THERMIQUE DE *LISTERIA INNOCUA* CLIP 20-595 EN MILIEU LIQUIDE OU ADHEREE A DES SURFACES INERTES

PEROVAL C., SAINT-ANDRE L., PORTANGUEN S., KONDJOYAN A.

INRA Clermont-Fd/Theix/Lyon – Station de recherches sur la viande – Equipe Génie des procédés
63122 Saint Genes-Champanelle – Tél. : 04 73 62 46 14 – Fax. : 04 73 62 40 89
email. : claudine.peroval@inra.clermont.fr

Introduction

L'intérêt accru de ces dernières années pour les procédés thermiques de décontamination des carcasses de bovins ou de volailles a conduit à la commercialisation de machines, au dépôt de brevets et la réalisation de programmes européens de recherche tels que BUGDEATH (Dosra et al., 1996; Valdramidis et al., 2004; Whyte et al., 2003). Malgré les résultats contradictoires obtenus, ces travaux ont généré trois grandes conclusions : [1] la résistance au traitement thermique des bactéries est très variable ; [2] la vapeur est plus efficace que l'air sec pour inactiver les bactéries ; [3] il est toujours plus difficile de décontaminer un aliment solide qu'un produit liquide. Le principal objectif de cette étude est de mieux comprendre les causes physiques de la plus grande résistance aux traitements thermiques des bactéries présentes à la surface des aliments solides notamment des viandes de volailles. Notre approche consiste d'abord à déterminer les paramètres d'inactivation thermique *Listeria innocua* CLIP 20-595 et d'étudier les cinétiques de destruction de cette même souche en suspension dans un milieu de dilution et après son adhésion à la surface d'un support inerte puis biologique. Le travail présenté porte sur la première partie de l'étude qui compare les cinétiques de destructions de *L. innocua* en milieu liquide et adhérent à la surface de coupons de Téflon®.

Matériel et Méthodes

Les cinétiques de destruction en milieu liquide ont été établies après immersion de micro-capillaires contenant 100µl de suspension bactérienne dans un bain-marie dont la température était constante et régulée. Pour la destruction en milieu solide, le Téflon® a été choisi comme support inerte car il présente des caractéristiques thermiques proches de celles de la peau de poulet. Après l'adhésion des cellules bactériennes à la surface des coupons de Téflon® (1 x 3 cm), ceux-ci ont été soumis au jet de vapeur émis par le prototype développé par l'équipe. La température de surface du coupon de Téflon® est enregistrée à l'aide d'un pyromètre infra-rouge tout au long de l'expérience. Les cellules bactériennes viables et thermo-résistantes ont été décrochées par ultrasons puis dénombrées après l'étalement des dilutions décimales à la surface de géloses PALCAM. Le transfert de chaleur dans le coupon de Téflon® a été simulé par un modèle numérique élaboré au laboratoire.

Résultats et Discussion

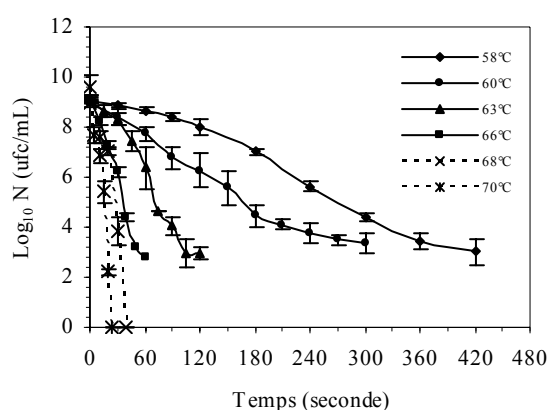


Figure 1 : Courbes de survie de *L. innocua* CLIP 20-595 en suspension dans du tryptone-sel à différentes températures.

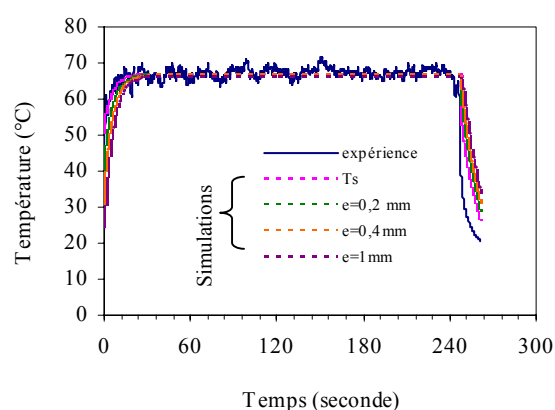
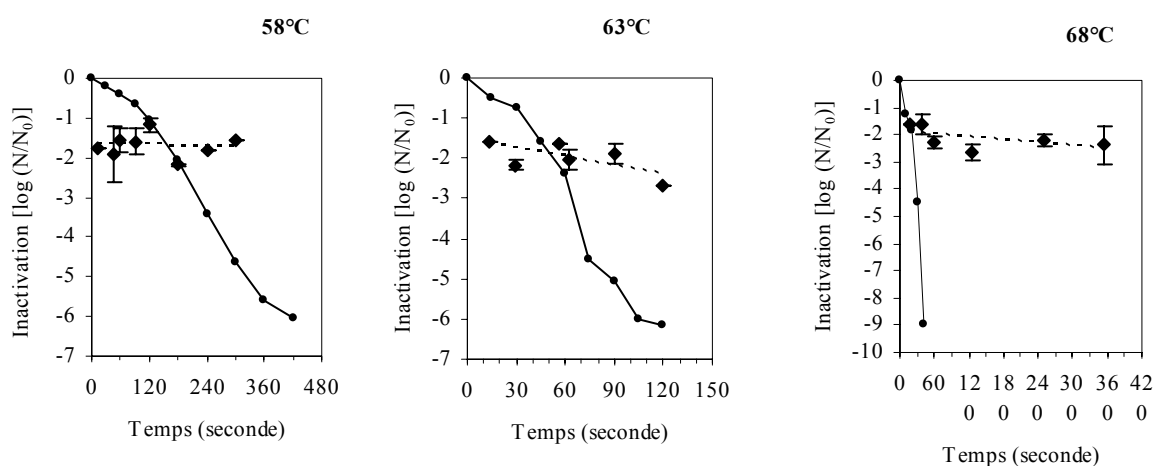


Figure 2 : Evolution de la température à la surface (T_s) et dans l'épaisseur (e) du coupon de Téflon®.

Les courbes de survie obtenues entre 58 et 66 °C présentent un épaulement, une partie linéaire et une traînée qui correspond à une population résiduelle résistante à la chaleur (figure 1). Les courbes obtenues à 68 et 70°C sont quasi linéaires avec une disparition de la population thermo-résistante. Les temps de réduction décimale (D_0) calculés à partir de la partie linéaire des courbes de survie ($R^2 \geq 0,98$), varient de 0,86 à 0,04 minute. Ces valeurs de D sont comparables à celles obtenues pour *L. innocua* ATCC 33091 et pour des souches de *L. monocytogenes* (Doyle et al., 2001; Foegeding et Stanley,

1991). Par contre, *L. innocua* M1 est plus résistante à la chaleur que *L. innocua* CLIP 20-595. En effet, pour une plage de températures similaires, les valeurs de D obtenues pour *L. innocua* M1 en suspension dans une solution de peptone-agar sont 2 à 4 fois supérieures à celles de *L. innocua* CLIP 20-595 (Murphy et al., 2000). L'élévation de température z nécessaire pour réduire D_0 au dixième de sa valeur est de 8,4°C ($R^2 = 0,98$). Cette valeur est plus élevée que celles fréquemment rencontrées dans la littérature pour les *Listeria*. *L. innocua* CLIP 20-595 semble donc moins sensible aux fluctuations de températures que les autres *Listeria*. L'énergie d'activation E de la destruction thermique déterminée à partir de la relation d'Arrhenius est de 313,4 KJ/mol. Cette valeur est proche de celle obtenue pour *L. innocua* ATCC 33091 (310,9 KJ/mol - 4) mais inférieure à celle de *L. innocua* M1 (352,2 KJ/mol - 7). *Listeria innocua* CLIP 20-595 a des paramètres d'inactivation thermique comparables à ceux des autres *Listeria*.

Lors de la décontamination par la vapeur des coupons de Téflon®, leur surface atteint rapidement un palier de température avant d'être brutalement refroidi (figure 2). Les simulations numériques donnent une bonne représentation de l'expérience et montrent que toute l'épaisseur du coupon de Téflon® ($e = 1\text{mm}$) atteint rapidement la même température que la surface. De ce fait, une bactérie qui serait logée dans un pore du matériau subirait un traitement thermique identique à celui imposé à la surface du matériau.



Figures 3 : Comparaison des cinétiques de destruction de *L. innocua* CLIP 20-595 en suspension dans du tryptone-sel (●) et adhérente à la surface de coupons de Téflon® (◆) à différentes températures.

La destruction de *L. innocua* à la surface de coupons de Téflon® reste inférieure à 3 log dans la plage de températures étudiées (figures 3). Pour des températures similaires, l'inactivation bactérienne atteint 9log en milieu liquide. La meilleure résistance à la chaleur des bactéries en surface des viandes ne résulte pas de l'effet protecteur des constituants de l'aliment car la même suspension bactérienne dans du tryptone-sel a été utilisée pour les cinétiques de destruction en milieux liquide et solide. Une différence de traitement thermique liée au positionnement des bactéries dans les pores, les plis ou crevasses de la peau de poulet ne peut pas également expliquer les écarts observés lors de la décontamination des produits solides et liquides. A ce stade de l'étude, nous supposons que des substances produites lors du processus d'adhésion confèrent aux bactéries une meilleure thermo-résistance. Des études ont montré que des fibrilles extracellulaires sont rapidement synthétisées et favorisent l'adhésion des bactéries aux surfaces (Kalmokoff et al., 2001; Mafu et al., 1990). De plus, les protéines de choc thermique sont synthétisées en faible quantité dans des conditions de culture non stressantes et sont rapidement induites lors d'une exposition à des températures élevées (Abee, 1999). La suite de nos travaux portera principalement sur la thermo-résistance des bactéries remises en suspension après adhésion sur une surface solide et une comparaison de ces résultats sera effectuée avec ceux obtenus sur la peau de poulet.

Références bibliographiques

- Abee T, Wouters J., 1999. Int. J. Food Microbiol. 50, 65-91.
 Dorsa W. Cutter C. Siragusa G., Koohmaraie M., 1996. J. Food Prot. 59, 127-135.
 Doyle M., Mazzotta A., Wang T., Wiseman D., Scott V., 2001. J. Food Prot. 64, 410-429
 Foegeding P, Stanley N, 1991. J. Food Prot. 54: 519-523.
 Kalmokoff M., Austin J., Wan X., Sanders G., Banerjee S., Farber J., 2001. J. Appl. Microbiol. 91, 725-734.
 Mafu A., Roy D., Goulet J., Magny P., 1990. J. Food Prot. 53, 742-749.
 Murphy R., Marks B., Johnson E., Johnson M., 2000. J. Food Sci. 65, 706-710.
 Notermans S., Kampelmacher E., 1975. Br. Poult. Sci. 16, 351-361.
 Valdramidis V., Belaubre N., Zuniga R., Foster A., Havet M., Geeraerd A., Swain M., Bernaerts K., Van Impe J., Kondjoyan A., 2004. Int. J. Food Microbiol., accepted.
 Whyte P., McGill K., Collins J., 2003. Food Microbiol. 20, 111-117.

SURVIE DE *CAMPYLOBACTER JEJUNI* ET DE *CAMPYLOBACTER COLI* SUR DES ECHANTILLONS DE COUENNE ET DE VIANDE DE PORC STOCKES A 4°C.

LAROCHE M., KAISER J., FEDERIGHI M., MAGRAS C.

UMR 1014 SECALIM, INRA/École Nationale Vétérinaire,
BP 40706, 44307 Nantes cedex 3, France

Introduction

Les *Campylobacter* thermotolérants sont la principale cause de toxi-infections alimentaires bactériennes dans les pays développés (OMS 2000). Si 4 espèces sont incriminées dans ces affections, la plus fréquente serait *C. jejuni* (entre 68 et 97 % des cas), la deuxième *C. coli* (entre 19 et 3%), *C. lari* et *C. upsaliensis* n'interviendraient que marginalement (Leclerc 2002, Vierikko 2004). De ce fait, suivant les pays et les auteurs, la plupart des travaux concernent soit *Campylobacter* sp., soit *Campylobacter jejuni*, et très souvent négligent les autres espèces. Les différentes études épidémiologiques montrent une certaine spécificité entre l'espèce de *Campylobacter* et l'espèce animale hôte. En revanche, au niveau des produits carnés une diversité des espèces de *Campylobacter* isolées est constatée. Ainsi chez le porc, le portage intestinal est un portage quasi exclusif à *C. coli* (Magras 2004, Weitjens 2000, Nesbakken 2002) alors que sur les produits carnés porcins, bien que *C. coli* reste l'espèce majoritairement isolée, *C. jejuni* est plus fréquemment rencontrée, voire même *C. lari* (Nesbakken 2002, Pezzotti 2003). Cette diversité des espèces bactériennes des produits carnés tient aux contaminations multiples et croisées que peut subir le produit tout au long de la chaîne de production. Il est donc intéressant d'appréhender la survie de ces espèces de *Campylobacter* d'une part sur les vecteurs potentiels de ces contaminations croisées, mais d'autre part, aussi, sur différentes matrices carnées en interaction avec la flore des produits. Or, si de nombreuses études ont porté sur les eaux et les surfaces, les études portant sur les matrices carnées soit font appel à des produits modèles, soit utilisent des aliments stérilisés, par irradiation (Solow 2003) ou autoclavage (Yoon 2004). Enfin, les études de survie se limitent à une comparaison visuelle de courbes de dénombrement, et, les exploitations numériques des données, telles que celle réalisée par Yoon (2004), restent encore extrêmement rares. Or ces données sont indispensables à l'Analyse du Risque.

Dans cette optique, nous avons entrepris l'étude de la survie des deux espèces de *Campylobacter* thermotolérants les plus importantes, en terme de santé publique, *C. jejuni* et *C. coli*, sur différentes matrices carnées de porc, dans des conditions de conservation proches de celles qui peuvent être rencontrées chez le consommateur.

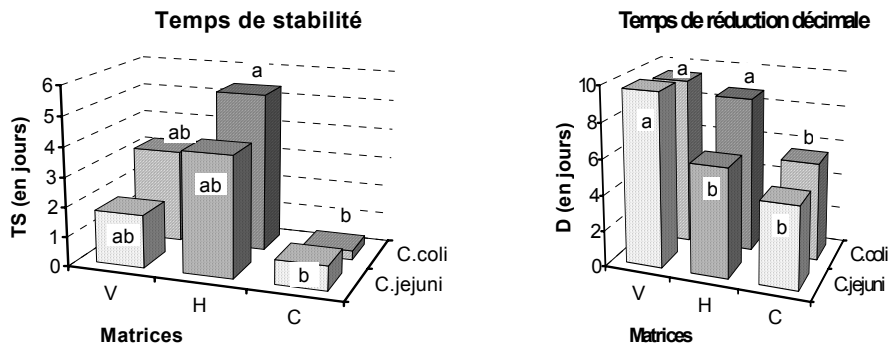
Matériel et Méthodes

Nous avons utilisé 2 souches de collection, la souche *C. jejuni* (NCTC 11168) et la souche *C. coli* (CIP 70.81). Toutes les croissances bactériennes ont été réalisées à 41,5°C en microaérophilie (O₂ 10%, CO₂ 5% et N₂ 85%) dans une étuve 3 gaz. Les inocula utilisés pour l'ensemencement des échantillons étaient issus de cultures en bouillon BHI, en phase stationnaire. Des morceaux de couenne provenant de longes et des escalopes dans l'épaule ont été achetés dans le commerce local. La couenne (C) et les escalopes (V) ont été découpées, à l'aide d'un gabarit, en plusieurs échantillons de la forme d'un carré de 5 cm de côté. Les chutes de viande obtenues ont été hachées (H) au hachoir à grille (5 mm) et réparties en échantillons d'environ 25g. Les différents échantillons d'escalope (V), de couenne (C) et de viande hachée (H) ont été déposés dans des boîtes de Pétri puis inoculés avec 0,1 ml de l'inoculum souhaité. Ils ont été ensuite stockés, jusqu'au moment du dénombrement, dans une enceinte réfrigérée à 4°C dans des boîtes plastiques hermétiques afin d'éviter une déshydratation superficielle. Les dénombrements ont été réalisés après ensemencement de deux dilutions sur deux géloses sélectives, une Karmali et une Butzler, après 1, 4, 8, 15, 21 jours de conservation des échantillons. Chaque expérience a été répétée 4 fois. Dans les conditions utilisées ici, les dénombrements sur géloses Butzler et géloses Karmali conduisaient à des résultats équivalents, aussi dans l'interprétation des résultats la distinction entre les 2 milieux de culture n'est pas nécessaire. Les résultats des dénombrements ont été paramétrés pour chaque cinétique en utilisant le modèle linéaire (Whiting 1995) qui peut se décrire par un temps de stabilité (TS) (lag time) et un temps de réduction décimale (D) (D value). Les calculs d'ajustement des paramètres ont été effectués pour chaque cinétique individuellement en utilisant le solveur du tableur Excel. Le traitement statistique des résultats a été réalisé par analyse de variance (SAS, procédure glm et test de Student-Newman-Keuls).

Résultats et discussion

Les valeurs initiales des inoculations variaient entre 4,7 et 6,6 log/cm² ou/g suivant les cultures, avec une moyenne à 5,5 log/cm² ou/g. Les paramètres cinétiques, temps de stabilité TS et temps de réduction décimale D, ne sont pas affectés par ces variations de la contamination initiale. Les valeurs moyennes des paramètres cinétiques TS et D sont représentées figure 1 pour les différentes associations matrices (V, C, H)/*C. jejuni* ou *C. coli*. L'évolution des paramètres est comparable pour les 2 espèces de *Campylobacter* utilisées. Le temps moyen de stabilité varie de 0,3 à 5 jours, le temps moyen de réduction décimale de 4 à 10 jours. Globalement, le temps moyen de stabilité est plus long pour la viande (V et H) que pour la couenne (C), et, le temps moyen de réduction décimale est significativement plus élevé pour la matrice viande (V), que

pour la matrice couenne (C). L'analyse des interactions matrice/souche a révélé une interaction remarquable entre *C. coli* et la matrice viande hachée et entre *C. jejuni* sur viande. En effet, les temps moyens de réduction décimale de ces deux associations sont significativement ($p < 0,05$) différents respectivement : pour *C. coli*/H plus élevé que *C. coli*/C et que *C. jejuni*/H ; pour *C. jejuni*/V plus élevé que *C. jejuni*/C et H.



Pour TS et D, des lettres différentes pour chaque couple matrice/espèce indiquent une différence significative à 5% (test SNK).

Figure 1 : Valeurs moyennes (sur 8 cinétiques) pour le temps de stabilité TS (à gauche) et le temps de réduction décimale D (à droite) pour *C. coli* CIP 70.81 et *C. jejuni* NCTC 11168 inoculés sur les différentes matrices (couenne=C, viande hachée=H, viande=V).

Les contaminations réalisées dans notre étude étaient très supérieures à celles rapportées dans les quelques études épidémiologiques sur des produits carnés similaires, respectivement, inférieurs à 10 UFC/cm² (travaux en cours) pour les porcins, et, 2,6 à 3 log/cm² pour les volailles (Berrang 2004). Par contre elles étaient modérées par rapport à celles utilisées dans les études comparables de l'ordre de 6 à 8 log/cm² (Solow 2003, Yoon 2004). Cette relative forte contamination par *Campylobacter* n'a cependant pas contrarié de façon nette le développement de la flore "naturelle" des échantillons, et notamment la flore d'altération. En effet la viande devenant difficilement manipulable après 2 à 3 semaines de stockage, il a été nécessaire d'interrompre les expériences à t = 21 jours de conservation alors que le calcul des paramètres aurait nécessité des points supplémentaires. A 4 °C dans des conditions de dessiccation modérée, nous confirmons une bonne survie de *Campylobacter sp.* sur des matrices carnées de porc dont la couenne (Solow 2003), avec des temps moyens de stabilité et de réduction décimales similaires à ceux constatés par Yoon (2004) pour *C. jejuni* sur viandes de volailles (TS d'environ 7 jours, D entre 4 et 5 jours). De plus, et contrairement à ces auteurs, nous montrons une interaction de certaines matrices avec la souche de *Campylobacter*, qui permet de révéler des différences de comportement entre *C. jejuni* et *C. coli*, et des différences de comportement de *C. coli* et *C. jejuni* en fonction de la matrice inoculée. Une co-interaction de la souche avec les propriétés physico-chimiques de la matrice, liées notamment au traitement de transformation (hachage ou non, contacts avec des anti-oxydants, accès aux nutriments) mais également avec la flore « naturelle » du produit est envisageable et pourrait expliquer l'absence d'effet matrice constatée par Yoon (2004) et Solow (2003), qui ont travaillé sur des prélèvements stérilisés (radiations ou chaleur).

Conclusions

Ce travail expérimental préliminaire, réalisé avec 2 souches de collection à des doses élevées de contamination, devra être validé en utilisant des souches "de terrain". Néanmoins, il a permis de montrer, en présence d'une flore « naturelle » du produit, des différences de comportement des deux espèces *C. jejuni* et *C. coli* en fonction de la matrice. Ces différences doivent être approfondies afin d'apporter des données quantitatives nécessaires à l'analyse du risque *Campylobacter sp.*

Références bibliographiques

- Berrang M.E., Smith D.P., Windham W.R., Feldner P.W., 2004. Journal of Food Protection, 67, 2, 235-238.
- Leclerc V., Dufour B., Lombard B., Gauchard F., Garin-Bastuji B., Salvat G., Brisabois A., Poumeyrol M., De Buyser M-L., Gnanou-Besse N., Lahellec C., 2002. Livestock Prod. Sci., 76: 195-202.
- Magras C., Laroche M., Rossero A., Mircovich C., Desmots M. H., Federighi M., 2004. 6ième Congrès National de la Société Française de Microbiologie, Bordeaux 10-12 mai 2004.
- Nesbakken T., Eckner K., Hoidal H. K., Rotterud O.J., 2003. Int. J. of Food Microbiology, (80) 231-240.
- OMS, 2000. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs255/fr/>
- Pezzotti G., Serafin A., Luzzi I., Mioni R., Milan M., Perin R., 2003. Int. J. of Food Microbiology, 82, 281-287.
- Solow B.T., Cloak O.M., Fratamico P.M., 2003. J. Food Prot., 66, 2023-2031.
- Vierikko A., Hanninen M.L., Siitonen A., Ruutu P., Rautelin H. 2004. Emerg. Infect. Dis., 10, 127-130.
- Weijtens, M. J. B. Murlings, H. A. P., Van Der Plas J., 2000. Letters in Applied Microbiology. 30:479-484.
- Whiting R.C., 1995. Crit. Rev. Food Sci. Nut., 35, 467-494.
- Yoon K.S., Burnette C.N., Oscar T.P., 2004. J. Food Prot. 67, 64-70.

Remerciements

à F.Jugiau pour son assistance technique.

Posters

Session 5

|

|

PREVALENCE DE LA CONTAMINATION DES CARCASSES DE PORCS REFRIGEREES PAR *CAMPYLOBACTER* sp. – PREMIERS RESULTATS

MIRCOVICH C. ¹, LAROCHE M. ², DESMONTS M. H. ³, FEDERIGHI M. ², MAGRAS C. ²

¹ Institut Technique du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35 104, 35 651 LE RHEU CEDEX

² UMR ENVN / INRA 1014, SECALIM, Ecole Nationale Vétérinaire, BP 40706, 44307 NANTES CEDEX 3

³ AERIAL, 19 rue de St Junien, BP 23, 67 305 SCHILTIGHEIM

Introduction

Les *Campylobacter* thermotolérants, recherchés activement depuis avril 2002 auprès de 600 laboratoires d'analyses médicales, occupent en France la seconde place, après les salmonelles, des agents isolés des selles de patients. Ils représentent aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, la 1^{ère} cause de toxi-infection alimentaire bactérienne (3). Bien que le lien de causalité entre les cas de campylobactérioses humaines et la consommation de viandes de poulets soit le plus fort (1), d'autres viandes mal cuites peuvent être suspectées. Or la grande majorité des porcs hébergent aussi des *Campylobacter* (5), qui sont présents en quantité importante dans les matières fécales (6). Ce germe est donc susceptible, malgré la performance des techniques d'abattage, de contaminer les carcasses de porcs.

Cette étude a pour objectif de caractériser la contamination des carcasses de porcs réfrigérées par *Campylobacter* sp. en estimant sa fréquence, son niveau et en tentant d'en élaborer une cartographie, au sein d'outils industriels français.

Matériels et méthodes

Trois à six séries de prélèvements ont été réalisées en une année et demie dans six abattoirs. Pour chaque série, 8 à 10 demi-carcasses réfrigérées issues de porcs abattus à différents moments de la tuerie de la veille, ont été rassemblées. Sur chaque demi-carcasse (226 au total) 8 sites ont fait l'objet d'un prélèvement par excision de 25 cm² de surface : 5 sites sur couenne (jambon, poitrine, épaule, longe et gorge) et 3 sites sur viande (jambon, poitrine et bavette). Chaque échantillon a été placé dans 10 ml de bouillon Preston et conservé au froid positif (de 0 à 10°C) jusqu'à son analyse réalisée dans les 24h. La détection et le dénombrement des *Campylobacter* sp. ont été réalisés, pour chaque prélèvement, après un ensemencement direct de 2 géloses Karmali et 2 géloses Butzler par 0,2 ml/boîte de la solution mère obtenue après dilacération à l'aide d'un appareil de type Stomacher, incubées à 42°C pendant 5 jours en atmosphère microaérophile (5% O₂, 10% CO₂, 85% N₂). Les colonies suspectes ont été contrôlées après coloration de Gram et examen de la mobilité (état frais), puis comptées. Par prélèvement positif, un isolat a été réalisé et conservé à - 80°C. L'identification des isolats au rang des espèces (*C. jejuni* et/ou *C. coli*) a été effectuée par PCR-Multiplex (8). Un prélèvement a été déclaré négatif lorsque, après 6 jours d'incubation, aucune colonie ou bactérie suspecte n'a été observée. Un prélèvement a été déclaré positif lorsque, sur au moins une boîte, la présence de *Campylobacter* a été constatée par la coloration de Gram et/ou par l'observation de l'état frais. Une demi-carcasse a été déclarée positive lorsqu'au moins un des prélèvements effectués sur les 8 sites a été déclaré positif. La prévalence « carcasse » est calculée par le rapport entre le nombre de demi-carcasses déclarées positives et le nombre total de demi-carcasses analysées (226) multiplié par 100. Le niveau de contamination est exprimé, uniquement pour les prélèvements positifs, en nombre d'unités formant colonies (UFC) par cm². Le seuil de détection de la méthode étant ici de 1 UFC/cm².

Résultats

Tableau 1. Prévalence et nombre de demi-carcasses déclarées positives en *Campylobacter* sp. pour les 226 demi-carcasses analysées

1 site positif	2 sites positifs	> 3 sites positifs	total de demi-carcasses positives / total analysées	Prévalence « carcasse »
24	3	0	27 / 226	12 %

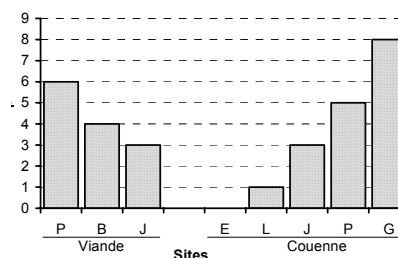


Figure 1. Nombre de prélèvements déclarés positifs en *Campylobacter* sp. par site de prélèvement

Tous sites confondus, 1,7% des échantillons ont été déclarés positifs. Sur les 226 demi-carcasses analysées, 27 ont été déclarées positives, soit une prévalence « carcasse » d'environ 12% (IC 95% [8-17]). 24 carcasses ont présenté 1 site positif, et 3 carcasses 2 sites positifs (tab. 1). Jamais plus de 2 colonies n'ont été observées sur une boîte positive. Excepté le site de l'épaule, tous les sites ont été au moins une fois déclarés positifs (fig. 1). 28 isolats ont été obtenus dont 20 ont été identifiés comme *C. coli* et 8 restaient non identifiables au rang de l'espèce.

Discussion

Aucun *Campylobacter* n'a été isolé à partir de carcasses de porcs réfrigérées dans les publications antérieures (4 ; 6 ; 7). En raison d'une certaine fragilité, les *Campylobacter* ne survivent pas facilement à certaines conditions de réfrigération, ce qui peut réduire leur nombre au-dessous des niveaux de détection de l'analyse microbiologique alimentaire sans enrichissement. Nos résultats montrent donc que, même si la contamination par *Campylobacter sp.* des carcasses de porcs réfrigérées n'est pas nulle, son niveau est en revanche très faible. Ceci est en accord avec les résultats obtenus en 1996, dans le cadre du programme fédéral américain relatif à la collecte de données microbiologiques sur les porcs charcutiers (2), où 31,5% de 2 112 carcasses ont été positives (seuil de sensibilité de 0,02 cellules par cm² dans 60 cm²), avec un niveau moyen de contamination des carcasses positives, estimé par la méthode du Nombre le Plus Probable, de 0,1 UFC par cm² (2).

La variabilité de la prévalence de *Campylobacter sp.* peut être due non seulement aux différences de seuils de détection (ainsi des prélèvements de gorges négatifs en détection ont été trouvés positifs après enrichissement – résultats non communiqués), mais aussi à la technique de prélèvement : chiffonner les carcasses ou assembler les échantillons augmente le risque de dilution des *Campylobacter*, faiblement compétiteurs d'une part et de masquage de leur présence du fait du développement d'une flore annexe de type *Pseudomonas*.

Le site de la gorge est plus souvent déclaré positif, sans doute en raison de sa position déclive.

Enfin, l'identification de souches appartenant uniquement à l'espèce de *Campylobacter coli* est en accord avec la contamination quasi-exclusive des porcs par cette espèce (5 ; 7). Or, ce dernier n'est mis en évidence aujourd'hui que dans moins de 10% des entérites humaines à *Campylobacter sp.*, et n'a encore jamais été mis en cause dans un cas de Syndrome de Guillain-Barré (1).

Conclusion

Bien que *Campylobacter* soit très sensible à l'oxygène et à la déshydratation, sa présence à la surface des carcasses de porcs, après réfrigération, est encore possible, mais le niveau de contamination semble toutefois très faible. L'évolution de cette contamination durant les opérations de découpe doit encore être étudiée afin d'apporter des données épidémiologiques nécessaires à l'analyse du risque de contamination du consommateur par contaminations croisées ou consommation de produits de porc mal cuits. Par ailleurs une évaluation du risque en terme de virulence des souches de *Campylobacter coli* reste à faire.

Références bibliographiques

- (1) : <http://www.afssa.fr/Ftp/afssa/22208-I.pdf>: Appréciation des risques alimentaires liés aux campylobacters. Application au couple poulet / *Campylobacter jejuni*. AFSSA, février 2004 ;
- (2) : <http://www.fsis.usda.gov/OPHS/baseline/contents.htm> : Nationwide Pork Microbiological Baseline Data Collection Programm : Market Hogs. USDA-FSIS, june 1996 ;
- (3) : http://www.invs.sante.fr/publications/2004/inf_origine_alimentaire/inf_origine_alimentaire.pdf : Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France. InVS, juin 2003 ;
- (4): Bracewell A. J., Reagan J. O., Carpenter J. A., Blankenship L. C., 1985. J. Food Protect., 48, 9, 808-810;
- (5): Magras C., Laroche M., Rossero A., Mircovich C., Desmonts M. H., Federighi M., 2004. 6ième Congrès National de la Société Française de Microbiologie, Bordeaux 10-12 mai 2004 ;
- (6): Oosterom J., Dekker R., de Wilde G. J. A., van Kempende Troye F., Engels G. B., 1985. The Vet Quarterly, 7, 1, 31-34;
- (7): Pearce R. A., Wallace F. M., Call J. E., Dudley R. L., Oser A., Yoder L., Sheridan J. J., Luchansky J. B., 2003. J. Food Protect., 66, 9, 1550-1556;
- (8): Van de Giessen A. W., Tilburg J. J., Ritmeester W. S., Van der Plas J., 1998. Epidemiol. Infect., 121, 1, 57-66;

Remerciements

Aux industriels partenaires de l'étude ; à F. Jugiau pour son assistance technique ; et au Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, pour son soutien financier dans le cadre d'un programme interministériel « Aliment – Qualité – Sécurité » (AQS R02/06).

NETTOYAGE-DESINFECTION DES PORCHERIES D'ATTENTE : MAILLON DANS LA LUTTE CONTRE LES SALMONELLES

MIRCOVICH C., MINVIELLE B., LE ROUX A.

ITP – antenne Ouest – La Motte au Vicomte – BP 35104 – 35651 Le Rheu cedex

Introduction

La plupart des carcasses de porcs contaminées par des salmonelles en fin de ligne d'abattage proviennent d'animaux porteurs au niveau intestinal (Berends et al, 1997). Or, le pourcentage de porcs contaminés en salmonelles au niveau intestinal augmente de façon considérable entre l'élevage et l'abattage (Fravalo et al, 1999 ; Swanenburg et al, 2001 ; Hurd et al, 2002). Le stress augmente l'excrétion fécale de salmonelles par les porteurs sains qui contaminent les camions et les porcheries d'attente de l'abattoir (Rossel et al, 2002). La contamination des porcheries d'attente à l'abattoir est donc un facteur de risque important (Rostagno et al, 2003 ; Beloeil et al, 2004). Cette étude, financée par l'OFIVAL et réalisée en collaboration avec les industriels, a pour objectif de tester différentes procédures de nettoyage-désinfection qui soient compatibles avec l'activité quotidienne des abattoirs et qui permettent de ramener la contamination des porcheries d'attente en salmonelles à un niveau acceptable.

Matériel et méthodes

Au vu du temps disponible entre la libération des travées à la fin d'une journée d'abattage et l'arrivée des premiers porcs destinés à être abattus le lendemain, deux protocoles quotidiens en 3 étapes ont été testés en semaine, et une procédure plus approfondie en 4 phases mise en œuvre en fin de semaine :

Tableau 1 : Procédures de nettoyage-désinfection

Protocole	Réalisation	Etapes				Consommation pour 100 m ²		
		Prélavage	Détergent (alcalin-chloré ; mousse) Contact : 20 min	Décapage moyenne pression	Désinfectant (glutaraldéhyde + amon. IV ; mousse) Contact : 30 min.	Durée (min.)	Eau (L)	Produit (L)
1	quotidien	Phase 1	Phase 2	Phase 3	x	35	1600	1,5
2	quotidien	Phase 1	x	Phase 3	Phase 4	35	1600	1
3	hebdo.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	40	1600	1,5 + 1

Les essais ont été réalisés dans 3 abattoirs entre octobre 2003 et mars 2004. Pour chaque protocole et chaque réalisation, des prélèvements de surface ont été réalisés en 5 sites par travées (3 sols et 2 murs) et sur 3 travées : recherche de salmonelles (NF V08-052) par chiffonnage de 0,5 m², après prélavage et après nettoyage-désinfection ; dénombrement semi-quantitatif de la flore mésophile totale par boîte-contact (ITP, 1993), après nettoyage-désinfection.

Résultats – discussion

Le lundi, après une journée d'abattage et prélavage au jet à gros débit, plus du tiers des 75 sites contrôlés présentent des salmonelles (résultats non présentés) ; cette prévalence est similaire aux 36% observés par Rossel et al (2002). La contamination des sols n'est pas statistiquement différente de celle des murs (42% vs 30%), mais la prévalence de ces derniers est deux fois plus élevée que celle précédemment trouvée. La proportion de sites contaminés est différente selon les abattoirs (p<1%) et variable selon la journée (1 à 12/15), ceci sans doute en relation avec une excrétion en salmonelles très variable selon les porcs et les travées.

En réalisation quotidienne, le protocole 1 n'a permis d'éliminer que la moitié des salmonelles initialement présentes (tableau 2), la diminution étant néanmoins statistiquement significative (p<0,1%). Au vu de la contamination résiduelle, l'utilisation d'un détergent alcalin-chloré suivi d'un décapage sans désinfection finale n'est donc pas suffisamment efficace vis à vis des salmonelles. Ce mauvais résultat est confirmé de façon plus générale par les 85% de boîtes-contact présentant plus de 150 colonies après la procédure (graphique 1).

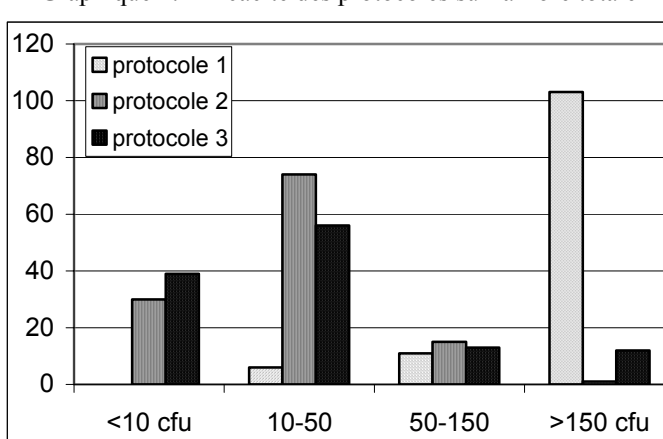
L'application d'un désinfectant sans détergence en fin de journée, après décapage à la moyenne pression, permet d'avoir une efficacité de 90% vis à vis des salmonelles (p<0,1%). Cette efficacité est confirmée par le bon niveau de propreté microbiologique obtenu après la réalisation de la procédure, avec 87% des sites présentant moins de 50 colonies par boîte-contact. Il a été également observé une amélioration significative du niveau de propreté microbiologique au cours de la semaine (p<0,1%), le nombre de sites présentant moins de 10 colonies passant de 0 à 43% entre le lundi et le jeudi. Ces résultats restent néanmoins à confirmer sur plusieurs semaines.

En fin de semaine, après la réalisation du protocole 3, une seule salmonelle sur 120 prélèvements a été détectée avant l'arrivée des porcs le dimanche, alors que la contamination initiale après prélavage était de 33%. Ce protocole complet en 4 phases (lavage, détergence, rinçage et désinfection) est donc très efficace vis à vis de l'élimination des salmonelles ($p < 0,1\%$). Il faut noter que la contamination résiduelle obtenue ici est plus faible que les 25% observés par Swanenburg (2001) à l'issue d'une procédure équivalente. L'efficacité du protocole complet est confirmée, comme en élevage (Corrégé et al, 2003), par les bons résultats obtenus avec les boîtes-contact, avec 20% seulement des sites présentant plus de 50 colonies par boîte avant l'arrivée des porcs. Le niveau de propreté microbiologique est significativement différent entre les deux réalisations du protocole 3 ($p < 1\%$), avec respectivement 30 % et 12% de sites présentant plus de 50 colonies par boîte-contact. Ce résultat est lié à l'amélioration précédemment constatée au cours de la semaine pour le protocole 2, les surfaces ayant été quotidiennement décapées entre les deux réalisations du protocole 3.

Tableau 2. Efficacité des protocoles sur les salmonelles

Protocole	Nombre de prélèvements	Recherche salmonelles		Sites restés positifs
		Avant	Après	
1	105	54	26	48%
2	120	21	2	10%
3	120	40	1	3%

Graphique 1. Efficacité des protocoles sur la flore totale



Le décapage, l'étape la plus consommatrice de temps et d'eau, est une phase essentielle. Elle a permis d'obtenir une bonne efficacité du désinfectant, même sans détergence. L'efficacité du détergent alcalin-chloré du protocole 1 aurait certainement été améliorée s'il avait été appliqué après décapage (Corrégé et al, 2003).

Comme en élevage (Corrégé et al, 2003), il a été observé une recontamination significative des sites en flore mésophile totale, en particulier des sols : le pourcentage des prélèvements ayant plus de 50 colonies par boîte-contact augmente ainsi de 22 à 52% entre le vendredi soir et le dimanche après-midi.

Conclusion

La procédure de nettoyage-désinfection complète, en 4 phases avec détergence et désinfection, s'est avérée très efficace vis-à-vis de l'élimination des salmonelles et des bactéries en porcheries d'attente à l'abattoir en fin de semaine. Sa mise en place de façon journalière paraît difficilement réalisable sur l'ensemble des travées, étant donné le temps et la main d'œuvre nécessaires, surtout en l'absence de matériel d'application centralisé. L'utilisation quotidienne d'un détergent alcalin-chloré n'a permis qu'un gain de temps mineur, et son efficacité globale est très insuffisante. En revanche, l'application directe d'un désinfectant après décapage s'est avérée efficace vis à vis des salmonelles et de la flore totale, mais son efficacité reste à confirmer à plus long terme. La réflexion autour du nettoyage-désinfection des porcheries d'attente devra être poursuivie afin de proposer des solutions efficaces et compatibles avec l'activité des abattoirs.

Cette problématique sera sans doute plus facile à intégrer à l'avenir dans une logique de gestion du risque "salmonelles" liée à la mise en place de la réglementation européenne « Zoonoses ».

Bibliographie

- Beloil P. A., Chauvin C., Proux K., Madec F., Fravallo P., Aliouim A., 2004. En instance de publication.
- Berends B.R., Van Knapen F., Sniijders J.M.A., Mossel D.A.A., 1997. *Int. J. Food Microbiol.* 36, 199-206.
- Corrégé I., Cornou C., Lenoir H., 2003. *Journées Rech. Porcine en France*, 35, 427-434.
- Fravallo P., Rose V., Eveno E., Salvat G., Madec F., 1999. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 383-389.
- Hurd H. S., Mc Kean J. D., Griffith R. W., Wesley I. V., Rostagno M. H., 2002 *Appl. and Env. Microbiol.*, may, 2376-2381. *ITP*, 1993. *Plaquette*, 4p.
- Rossel R., Le Roux A., Minvielle B., 2002. *TechniPorc*, 25 (, 2), 27-31.
- Rostagno M. H., Hurd H. S., McKean J. D., Ziemer C. J., Gailey J. K., Leite R. C., 2003. *Appl. and Env. Microbiol.*, aug., 4489-4494.
- Swanenburg M., Urlings H. A. P., Keuzencamp D. A., Sniijders J. M. A., 2001. *J. Food Protection*, 64(1), 12-16.