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

Hors série

11èmes Journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes »

4 et 5 octobre 2006 à CLERMONT FERRAND

Lieu : Domaine du Marand
63450 Saint Amant Tallende

ADIV
LE PÔLE VIANDE
INRA
InnoViandes
PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ VIANDES ET PRODUITS CARNÉS

JSMTV

INTERBEV
OFFICE DE L'ELEVAGE
CIV Centre d'Information des Viandes

INTRODUCTION

Joseph CULIOLI
INRA
63122 SAINT GENES-CHAMPANELLE

La 11ème édition des Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes retrouve pour la 3ème fois (après 1996 et 2002) le site de Clermont-Ferrand. Cette édition est organisée par le GIS Pôle Viande, notamment l'INRA et l'ADIV, et bénéficie du soutien financier de l'Office de l'Elevage, d'INTERBEV, du CIV et de l'INRA (Départements CEPIA et PHASE).

Ces Journées s'inscrivent dans le cadre des activités d'animation du Pôle de Compétitivité « InnoViandes » (cf. éditoriaux de la revue Viandes et Produits Carnés vol 24, N°5 et vol 25, N°3). C'est la raison pour laquelle une réunion-débat, au cours de laquelle les objectifs, l'organisation, le fonctionnement et les premiers projets labellisés de ce Pôle doivent être présentés, a été incluse en fin de programme. Cette présentation sera suivie d'une discussion qui devrait permettre de mieux connaître les attentes des différents acteurs de la filière, qu'il s'agisse des entreprises, des Centres Techniques, ou des chercheurs.

Ces XIèmes Journées sont organisées en 5 sessions et une table ronde dont les animateurs ont constitué un Comité Scientifique présidé par Joseph Culioli (INRA-Clermont-Ferrand) :

- Socio-économie de la filière : Pascal Mainsant (INRA-Ivry) et Bernard Fostier (IFIP)
- Valeur nutritionnelle et valeur santé des viandes et des produits carnés : Jacques Mourot (INRA-Rennes) et Jean Luc Vendeuvre (IFIP-Maisons-Alfort)
- Génomique et Qualité des viandes : Michel Duclos (INRA-Tours) et Gilles Renand (INRA-Jouy en Josas)
- Hygiène et sécurité sanitaire : Jean Pierre Frencia (ADIV-Association) et Philippe Fravalo (AFSSA-Ploufragan)
- Bases biologiques de la qualité des viandes : Cécile Berri (INRA-Tours) et Claudia Terlouw (INRA-Clermont-Ferrand)
- Innovation produits – Innovation procédés : Alain Peyron (ADIV-Association) et Philippe Bernard (ADIV-Marketing)

Chaque session comprend des conférences sur invitation et des présentations orales courtes sélectionnées parmi les communications proposées. Les traditionnelles sessions de présentation d'affiches scientifiques sont complétées pour la première fois par des ateliers au cours desquels les auteurs peuvent présenter rapidement leurs travaux et dialoguer avec les participants.
Un des objectifs de la table ronde « Innovation produits et procédés » est d'accroître la participation aux JSMTV des entreprises de la filière, en leur permettant de présenter l'importance que joue l'innovation dans le développement de la filière et les besoins en recherche nécessaire à son émergence et à son développement.
Enfin, la réunion-débat sur le Pôle de Compétitivité InnoViandes doit permettre aux différents acteurs de la filière de présenter leurs attentes respectives dans le domaine de la recherche et du développement, et d'optimiser l'efficacité et l'impact de ce Pôle de compétitivité.

Plus de 150 participants sont attendus pour suivre les 12 conférences et 19 communications orales, discuter avec les auteurs des 47 affiches scientifiques et échanger avec les partenaires industriels. Le nombre et la qualité des échanges entre participants doit permettre d'atteindre l'objectif fixé par le comité d'organisation et le comité scientifique : « Faire de ces Journées un moment privilégié pour entretenir et établir de nouveaux liens entre les différents acteurs de la recherche et du développement au service de la filière viande ».

11èmes JOURNEES
« SCIENCES DU MUSCLE et TECHNOLOGIES DES VIANDES »

COMITE D'ORGANISATION

Cécile BERRI (INRA TOURS)
Valérie BRIDOUX (VIGIE VIANDE)
Joseph CULIOLI INRA (CLERMONT-FD)
Michel DUCLOS (INRA TOURS)
Bernard FOSTIER (IFIP)
Vérane GIGAUD (ITAVI)
Jacques GIROUX (INTERBEV)
Florence LEFEVRE (INRA RENNES)
Claire LEGRAIN (OFFICE DE L'ELEVAGE)
Jacques LUCBERT (INSTITUT DE L'ELEVAGE)
Pierre MAINSANT (INRA IVRY)
Jacques MOUROT (INRA RENNES)
Brigitte PICARD (INRA CLERMONT-FD)
Jean-Pierre POMA (CTCPA)
Gilles RENAND (INRA JOUY EN JOSAS)
Gilles SALVAT (AFSSA)
Michel SAUDAN (ADIV ASSOCIATION)
Jean-Luc VENDEUVRE (IFIP)

COMITE SCIENTIFIQUE

Philippe BERNARD (ADIV-MARKETING)
Cécile BERRI (INRA TOURS)
Joseph CULIOLI (INRA CLERMONT-FD)
Michel DUCLOS (INRA TOURS)
Bernard FOSTIER (IFIP)
Philippe FRAVALO (AFSSA PLOUFRAGAN)
Jean-Pierre FRENCIA (ADIV-ASSOCIATION)
Pascal MAINSANT (INRA IVRY)
Jacques MOUROT (INRA RENNES)
Gilles RENAND (INRA JOUY EN JOSAS)
Alain PEYRON (ADIV-ASSOCIATION)
Claudia TERLOUW (INRA CLERMONT-FD)
Jean-Luc VENDEUVRE (IFIP)

COMITE D'ORGANISATION LOCAL

Christine AUREL (ADIV ASSOCIATION)
Odile BERNARD (INRA CLERMONT-FD)
Valérie BRIDOUX (VIGIE VIANDE)
Joseph CULIOLI (INRA CLERMONT-FD)
Elisabeth LAVILLE (INRA CLERMONT-FD)
Catherine MENARD (POLE INNOVIANDES)
Brigitte PICARD (INRA CLERMONT-FD)

11èmes JOURNEES
« SCIENCES DU MUSCLE et TECHNOLOGIES DES VIANDES »

SOMMAIRE

CONFERENCE INTRODUCTIVE **Page 11**

La recherche et le développement en Europe dans le domaine de la qualité et de la technologie de la viande et les produits carnés.
ANTOINE CLINQUART (Université de Liège)

SESSION 1 Socio-Economie de la filière .....Page 21
Animateurs : Pascal Mainsant (Inra-Ivry) et Bernard Fostier (Ifip)

CONFERENCES

E-CONF1 L'élevage français et la viande bovine à l'horizon 2012 :
Quelles évolutions possibles après la réforme de la PAC ?
GUESDON J.C., PERROT C.

E-CONF2 Discussions à l'OMC : risques pour les filières viandes en Europe
Le cas de la viande porcine, à la lumière des autres viandes
RIEU M.

E-CONF3 Recherche d'explications aux divergences d'évolutions entre les 2 approches de la consommation des viandes, les approches par bilan et les approches par panels
MAINSANT P.

COMMUNICATIONS

E-COM1 Evaluation globale du bien-être animal en vue de son intégration dans des démarches qualité
BOTREAU R., CAPDEVILLE J., PERNY P., VEISSIER I.

E-COM2 Construction de la démarcation d'un produit slovène traditionnel, le jambon sec de karst ("kraški pršut")
ČANDEK-POTOKAR M., SANS P.

SESSION 2 **Valeur nutritionnelle et valeur santé des viandes et des produits carnés** .....**Page 53**
Animateurs : Jacques Mourot (Inra-Rennes) et Jean-Luc Vendeuvre (Ifip)

CONFERENCES

N-CONF1	La place de la viande et des produits à base de viande comme aliments-vecteurs dans les apports nutritionnels de la population française VOLATIER J.L., DUFOUR A.
N-CONF2	Prévention de la formation de composes néoformés dans la viande cuite et les produits à base de viande en fonction de leur mode de préparation ou de fabrication VENDEUVRE J.L.

COMMUNICATIONS

N-COM1	Effet de la conservation de la viande bovine sur les processus de péroxydations lipidique et protéique DURAND D., SAVARY-AUZELOUX I., ORTIGUES-MARTY I., THOMAS E., SCISLOWSKI V., PEYRON A., BAUCHART D.
N-COM2	Effet des antioxydants végétaux sur la péroxydation lipidique de bœuf haché au cours de la conservation THOMAS E., SCISLOWSKI V., RENERRE M., GATELLIER P., GLADINE C., SAVARY-AUZELOUX I., BAUCHART D., DURAND D.
N-COM3	Les valeurs nutritionnelles de la viande de porc : analyses sur 9 pièces UVC VAUTIER A.
N-COM4	Effet de régimes riches en acides gras omega-3 sur la composition de la longe de porcs abattus à 110 et 160 kg p.v. MUSELLA M., DOUARD V., CORINO C., MOUROT J.

POSTERS

N-POS1	Composition en acides gras et vitamine E dans les viandes de poulets de chair nourris aux glands de chêne vert BOUDEROUA K., SELSELET-ATTOU G., MOUROT J.
N-POS2	Effet des acides gras n-3 sur la qualité nutritionnelle de la viande de lapin MOUROT J., BLOCHET J.E., KOUBA M.
N-POS3	L'effet du poids vif à l'abattage sur les caractéristiques chimiques, physiques et sensorielles de la longe du porc. CANNATA S., RATTI S., ROSSI R., CORINO C.
N-POS4	Caractérisation des qualités sensorielles et chimiques du jambon d'Ardenne IGP, en relation avec le procédé de fabrication COLLARD C., SINDIC M., DEROANNE C.
N-POS5	Etude de l'incidence d'ALKOSEL® sur la qualité du jambon de Bayonne I.G.P. ROBERT N., BAULEZ M., CHEVAUX E., DUTERTRE C.
N-POS6	Qualité nutritionnelle des lipides du pâté de campagne GUILLEVIC M., BLOCHET J.E., LE MINOUS A.E., MOUROT J.
N-POS7	Effet de la cuisson ou de la transformation sur la teneur en acides gras n-3 de quelques produits animaux. MOUROT J., GUILLEVIC M., MOUNIER A., KERHOAS N., WEILL P.
N-POS8	Effets de la conservation de la viande bovine sur les teneurs en différents micronutriments d'intérêt pour l'homme. SAVARY-AUZELOUX I., ORTIGUES-MARTY I., BAUCHART D., THOMAS E., SCISLOWSKI V., PEYRON A., DURAND D.
N-POS9	Impact de différents modes de cuisson de la viande bovine sur les processus de péroxydations lipidiques DURAND D., GRUFFAT D., ORTIGUES-MARTY I., SAVARY-AUZELOUX I., THOMAS E., PEYRON A., BAUCHART D.
N-POS10	Effets des modes de conservation de la viande bovine sur les lipides et leur contenu en acides gras polyinsaturés BAUCHART D., THOMAS E., SCISLOWSKI V., PEYRON A., DURAND D.
N-POS11	Les tissus adipeux, notamment intermusculaires, sont le siège de la synthèse et de la bioconversion du 9cis, 11trans CLA chez le bouvillon. GRUFFAT D., REMOND C., DURAND D., LOREAU O., BAUCHART D.

SESSION 3 Génomique et qualités des viandes.....Page 109
Animateurs : Michel Duclos (Inra-Tours) et Gilles Renand (Inra-Jouy en Josas)

CONFERENCES

G-CONF1 La génomique appliquée à l'amélioration des animaux d'élevage. Présentation des projets financés dans le cadre du programme « AGENAE ».
SELLIER P.

G-CONF2 Approches combinées de génomique positionnelle (recherche de QTL) et expressionnelle (étude du transcriptome) pour identifier des gènes contrôlant la qualité de la viande chez le poulet.
LE BIHAN-DUVAL E., BERRI C., PITEL F., NADAF J., SIBUT V., JENKINS C., DUCLOS M.J.

COMMUNICATIONS

G-COM1 MUGENE : Approche intégrée combinant la génétique, la génomique et la biologie musculaire pour prédire la qualité de la viande bovine selon le potentiel de croissance des animaux et les facteurs d'élevage.
HOCQUETTE J.F. et collaborateurs, MORZEL M. et collaborateurs, LEVEZIEL H. et collaborateurs, RENAND G. et collaborateurs

G-COM2 Localisation de QTL influençant le taux de lipides intramusculaires dans une population F2 DUROC x Large White.
SANCHEZ M.P., BASSO B., BILLON Y., GILBERT H., IANNUCCELLI N., LARZUL C., RIQUET J., BIDANEL J.P., MILAN D., LE ROY P.

G-COM3 Analyse protéomique du pectoralis major de deux types génétiques de dindes.
MOLETTE C., LAURENT N., PICHEREAUX C., REMIGNON H., BABILE R., FERNANDEZ X.

G-COM4 Expression génique dans le muscle semimembranosus d'ovins porteurs de la mutation "Texel Belge".
HAMELIN M., FORESTIER L., MILENKOVIC D., LAVILLE E.

G-COM5 Qualités des carcasses et des viandes de jeunes bovins charolais hétérozygotes pour la mutation q204x de la myostatine.
RENAND G., LEVEZIEL H., PAYET N., HOCQUETTE J.F., LEPETIT J., DENOYELLE C., DODELIN V., MALAFOSSE A.

POSTERS

G-POS1 Propriétés contractiles et métaboliques du muscle long dorsal de 15 races bovines européennes.
HOCQUETTE J.F., JURIE C., PICARD B., ALBERTI P., CHRISTENSEN M., FAILLA S., GIGLI S., LEVEZIEL H., SAÑUDO C., ERTBJERG P., NUTE, G.R., WILLIAMS J.L.

G-POS2 Marqueurs de tendreté de la viande de taurillons Blonde d'Aquitaine révélés par l'analyse du protéome.
PICARD B., CHAMBON C., MEUNIER B., JACOB H., JURIE C.

G-POS3 Etude du développement musculaire bovin par analyse protéomique.
CHAZE T., PICARD B.

G-POS4 Identification des spécificités fonctionnelles des adipocytes intramusculaires par une approche protéomique chez le Porc.
GONDRET F., GUITTON N., LOUVEAU I.

SESSION 4 Hygiène et sécurité sanitaire .....Page 145
Animateurs : Jean-Pierre Frencia (Adiv Association) et Philippe Fravalo (Afssa-Ploufragan)

CONFERENCES

H-CONF1 Les écosystèmes microbiens dans les produits carnés
LABADIE J.

H-CONF2 Portage sain et excrétion fécale par les ruminants de souches d'Escherichia coli entérohémorragiques responsables de toxi-infections alimentaires.
MARTIN C.

COMMUNICATIONS

H-COM1	La spectroscopie de fluorescence : un outil pour l'identification des bactéries lactiques YAAKOUBI K., AMMOR S., HAYDERSAH J., DUFOUR E., CHEVALLIER I.
H-COM2	Intérêt d'un ferment dans un produit fermier TALON R., LEROY S., LEBERT I., LEBECQUE A.
H-COM3	Modélisation du comportement de flores technologiques et de *listeria monocytogenes* dans le saucisson sec en vue de la sécurité du produit – phase I COPPET V., CHRISTIEANS S., HUCHET V.
H-COM4	Statut de dangerosité des carcasses de porcs vis-à-vis du danger *campylobacter spp*. LAROCHE M, MINVIELLE B., LEBIGRE M., DESMONTS M. H., MIRCOVICH C., MAGRAS C.

POSTERS

H-POS1	Approche protéomique pour la caractérisation de souches de *listeria monocytogenes* : recherche de marqueurs de risque DUMAS E., MEUNIER B., BERDAGUE J.L., CHAMBON C., HEBRAUD M.
H-POS2	Physiologie de la croissance en biofilm de *staphylococcus xylosus* par une approche protéomique PLANCHON S., LEROY S., CHAMBON C., CHAFSEY I., HÉBRAUD M., TALON R.
H-POS3	Optimisation du conditionnement des abats et étude de la croissance bactérienne en vue de valider la DLC des abats COPPET V, CHRISTIEANS S.
H-POS4	Altérations microbiennes liées aux bactéries lactiques hétérofermentaires dans le jambon cuit supérieur COPPET V, CHRISTIEANS S.
H-POS5	Activités anti-bactériennes des bactéries lactiques isolées d'ateliers fermiers de salaison YAAKOUBI K., AMMOR S., HAYDERSAH J., CHEVALLIER I.
H-POS6	Influence de la méthode de récupération, de la matrice carnée et de la souche sur le rendement de récupération de *campylobacter spp*. implantés sur viande de porc FOSSE J., LAROCHE M., FEDERIGHI M., MAGRAS C.
H-POS7	Utiliser la vapeur surchauffée pour décontaminer la surface de carcasses de volailles KONDJOYAN A., PORTANGUEN S.

SESSION 5 <u>Bases biologiques de la qualité des viandes</u> .....Page 181

<u>Animateurs</u> : Cécile Berri (Inra - Tours) et Claudia Terlouw (Inra - Clermont-Ferrand)

CONFERENCES

B-CONF1	Caractéristiques des muscles et de la viande des principales races bovines allaitantes du Massif Central PICARD B., JURIE C., BAUCHART D., DRANSFIELD E, OUALI A., MARTIN J.F., JAILLER R., LEPETIT J., CULIOLI J.
B-CONF2	Relations entre le métabolisme post mortem et les qualités des viandes : apports de la protéomique MORZEL M., TERLOUW C., LAVILLE E.

COMMUNICATIONS

B-COM1	Effet de l'oxydation sur l'agrégation et la protéolyse des protéines myofibrillaires GATELLIER PH., SAYD T., CHELH I., SANTE LHOUTELLIER V.
B-COM2	Relation entre les caractéristiques du collagène et le persillé de la viande bovine LISTRAT A., PISSAVY A.L., JURIE C., LETHIAS C., BOULESTEIX P., HOCQUETTE J.F.
B-COM3	Qualité de la chair chez des truites (*Oncorhynchus mykiss*) à haut et bas rendements en filet BUGEON J., LEFEVRE F., CARDINAL M., UYANIK A., DAVENEL A., HAFFRAY P.
B-COM4	Effet de l'âge sur les dépôts de lipides dans le filet de canard mulard CHARTRIN P., BORDEAU T., BERNADET M.D., GUY G., HOCQUETTE J.F., RIDEAU N., MOUROT J., DUCLOS M.J., BAEZA E.

B-COM5	Etude de l'organisation spatiale du tissu conjonctif par analyse d'image pour la prévision de la tendreté du muscle bovin EL JABRI M., ABOUELKARAM S., REGRAG A., DAMEZ J-L., ROUX D.

POSTERS

B-POS1	Etude de l'influence des paramètres de pré-abattage sur le pH de carcasses de porcs SINDIC M., MERTENS G., RENKENS M., DEROANNE C.
B-POS2	Influence des facteurs ante-mortem sur la qualité technologique des filets de poulet de type standard et label GIGAUD V., DEBUT M., BERRI C., LEBIHAN-DUVAL E., TRAVEL A, BORDEAU T.
B-POS3	Effet du délai entre abattage et découpe sur la qualité des filets de poulets labels, certifiés et standards BERRI C., LE BIHAN-DUVAL E., LEPETIT J., BAEZA E., BORDEAU T., PEYRIN F., CORMIER D., GIGAUD V.
B-POS4	Impact de la teneur en lipides musculaires et de la triploïdie sur la texture de la chair de truite arc-en-ciel : Intérêt de lignées divergentes sélectionnées LEFEVRE F., BUGEON J., CARDINAL M., LABBE L., MEDALE F., QUILLET E.
B-POS5	Effets du mode d'élevage sur les performances, le comportement des animaux et la qualité de viande chez deux génotypes de porcs LEBRET B., MEUNIER-SALAUN M.C., FOURY A., MORMEDE P., DRANSFIELD E., DOURMAD J.Y.
B-POS6	Qualité des carcasses de caprins créoles abattus à poids différents LIMEA L., ALEXANDRE G., ARQUET R., GRAVILLON G., BOCAGE B., LAVILLE E.
B-POS7	Production de veaux roses Salers : caractéristiques zootechniques et qualités organoleptiques de la viande selon la nature du fourrage et le niveau de complémentation SERRANO E., JAILLER R., DUBROEUCQ H., AGABRIEL J., MICOL D.
B-POS8	Traçabilité de l'alimentation à base de fourrages par l'empreinte des caroténoïdes, des terpènes et de la SPIR chez les jeunes bovins SERRANO E., CORNU A., ANDUEZA D., CHAUVEAU B., PRACHE S., PRADEL P., MICOL D.
B-POS9	Typologie des viandes selon la qualité sensorielle chez la génisse de race charolaise : relations avec les performances à l'abattage des animaux OURY M. P., AGABRIEL J., BLANQUET J., LABOURÉ H., MICOL D., PICARD B., ROUX M., DUMONT R.
B-POS10	Mise en évidence de quatre isoformes de chaîne lourde de myosine dans les fibres musculaires de génisses de race charolaise OURY M. P., PICARD B., DELAMARCHE F., BARBOIRON C., DUMONT R.
B-POS11	Caractéristiques musculaires des bovins de l'A.O.C. taureau de Camargue PICARD B., FIOT I., DURAND D., MICOL D., SANTE-LHOUTELLIER V.
B-POS12	Etude de la stabilité de la couleur et de l'oxydation des lipides dans les viandes A.O.C. de taureau de Camargue SANTE-LHOUTELLIER V., GATELLIER PH., PICARD B., FIOT I., DURAND D., MICOL D.
B-POS13	Contribution à l'étude du déterminisme biologique du pH ultime dans le muscle de poulet FERNANDEZ X., EL RAMMOUZ R., SANTE-LHOUTELLIER V., MOLETTE C., REMIGNON H., BABILE R.
B-POS14	Hydrophobicité des protéines myofibrillaires : application au modèle PSE THERON L., GATELLIER Ph., DEISS V., SAYD T., SANTE-LHOUTELLIER V.
B-POS15	La carte protéomique : un outil pour la détermination de marqueurs des qualités de la viande de porc KWASIBORSKI A., SAYD T., CHAMBON C., LAVILLE E., SANTE-LHOUTELLIER V., TERLOUW C.
B-POS16	Effet du sexe sur l'expression des protéines sarcoplasmiques KWASIBORSKI A., SAYD T., CHAMBON C., SANTE-LHOUTELLIER V., ROCHA D., TERLOUW C.
B-POS17	Etude des transporteurs d'acides gras dans les adipocytes isolés de muscle et de tissu adipeux sous-cutané chez le porc GARDAN D., LOUVEAU I., GONDRET F.

SESSION 6 Procédés.....Page 245
Animateurs : Alain PEYRON (ADIV Association) et Philippe BERNARD (ADIV Marketing)

POSTERS

P-POS1	Comment modéliser la cuisson de la viande - Présentation des études préliminaires sur les transferts chaleur-matière KONDJOYAN A., PEYRON A.
P-POS2	Etude d'un procédé d'extraction et de fractionnement de protéines issues de co-produits animaux pour une utilisation en tant qu'ingrédients fonctionnels LEMOINE E., SELMANE D., VIAL C., SANTE-LHOUTELLIER V., DJELVEH G., PEYRON A.
P-POS3	Le procédé « Tendercut » : un impact non négligeable sur la tendreté de la viande de gros bovins TRIBOT LASPIERE P.
P-POS4	Application des hautes pressions pour le magret de canard fumé-séché LUCAN A., ZUBER F.
P-POS5	Influence de l'indice de graisse sur la qualité de quatre produits carnés HADORN R., EBERHARD P., GUGGISBERG D., PICCINALI P., SCHLICHTHERLE-CERNY H., SCHERRER D., BEE G.
P-POS6	La mesure de la couleur de la viande RENERRE M.
P-POS7	Caractérisation histologique et ultrastructurale de l'effet du sel sur la viande de boeuf hachée LABAS R., ASTRUC T., CHANIER L., VENDEUVRE J. L., MARTIN J. L., TAYLOR R.
P-POS8	Caractérisation des tissus adipeux de découpe des bovins PICGIRARD L.

11èmes JOURNEES

« SCIENCES DU MUSCLE
et TECHNOLOGIES DES VIANDES »

Conférence introductive

LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT EN EUROPE DANS LE DOMAINE DE LA QUALITE ET DE LA TECHNOLOGIE DE LA VIANDE ET DES PRODUITS CARNES

CLINQUART A.

Dépt Sciences des Denrées Alimentaires (DDA) / Université de Liège
Sart Tilman B43bis – (B) 4000 Liège

1. Introduction

Les Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes ont vocation à faire état des travaux de recherche les plus récents auprès des acteurs techniques, économiques et scientifiques des filières de production et de transformation de viande. Les thèmes de ces recherches et les organisations qui les réalisent évoluent au cours du temps, en fonction notamment des besoins des acteurs (producteurs, transformateurs, distributeurs, consommateurs) et du contexte socio-économique. Par ailleurs, ces recherches s'inscrivent plus que jamais dans un contexte international, particulièrement au niveau européen.

L'objectif de cette présentation – ambitieux il est vrai – est de donner un aperçu des recherches menées en Europe dans le domaine des sciences du muscle et technologies de la viande.

Largement diffusées, les publications dans des revues scientifiques ou des communications à des congrès rendent compte des résultats des recherches et constituent donc un indicateur potentiel des thèmes étudiés. Les informations relatives aux organisations, structures ou équipes qui réalisent ces recherches sont en revanche beaucoup moins accessibles. Quand elles le sont, c'est généralement sous forme individuelle et partielle, par exemple via le site Internet des centres de recherche. En effet, à l'échelle européenne, il n'existe pas d'inventaire exhaustif des équipes de recherche. Cette présentation était donc une bonne opportunité pour tenter de dresser un inventaire des centres de recherche dans le domaine « sciences du muscle et technologies des viandes ».

Il n'existe pas de définition officielle ou normative des « Sciences du Muscle » et « Technologies des Viandes ». A titre d'exemple, on peut néanmoins citer les définitions données par *l'Institute of Food Science and Technology* (2005) pour les termes « *Food Science* » et « *Food Technology* » :

- « Sciences des aliments » = « compréhension scientifique de la composition des aliments sous différentes conditions » [(1)] ;

- « Technologie des aliments » = « application des sciences des aliments à la transformation des matières alimentaires en produits alimentaires sûrs, sains, nutritifs, savoureux et attractifs» [(2)].

L'application de ces définitions aux « Sciences du muscle » et « Technologie des viandes » est rendue compliquée par le fait que les termes « Muscle » et « Viande» ne sont pas identiques puisqu'on considère généralement que la viande est le résultat de la transformation *post mortem* du muscle.

Dans la suite du texte on considèrera dès lors que les « Sciences du muscle » concernent l'étude *in vivo* (métabolisme, structure, biochimie, …) et que les « Technologies des viandes » concernent le traitement et la transformation des muscles après l'abattage des animaux. Les études du muscle *in vivo* retenues seront toutefois limitées à celles ayant un lien direct avec la production de viande.

[1] Cette définition apparemment claire ne révèle pas le contexte multidisciplinaire complexe impliquant une combinaison de plusieurs sciences et la connaissance de la composition des matières alimentaires et de leur comportement physique, biologique et biochimique comprenant : l'interaction des composants alimentaires les uns avec les autres et/ou avec les autres éléments ou matériaux (p.ex. l'oxygène, les matériaux d'emballage), la nutrition, l'enzymologie, la microbiologie, la pharmacologie et toxicologie, et les effets de la fabrication, de la transformation et de la conservation.

[2] La technologie des aliments définit et intègre l'application d'autres technologies aux aliments, telles que l'emballage, les sciences des matériaux, les techniques, l'instrumentation, l'agriculture et la biotechnologie.

2. Organisations

Partant du constat qu'aucun inventaire exhaustif des équipes ou centres qui consacrent leurs activités de recherche aux « Sciences du Muscle » et « Technologies des viandes » n'est disponible à l'heure actuelle au niveau européen, que ce soit sous forme d'une base de données centralisée ou de réseau, il a été proposé d'établir une liste de personnes pouvant servir de contact pour chacun des 25 pays de l'U.E. et de 7 autres pays européens (par ordre alphabétique : Bulgarie, Croatie, Norvège, Roumanie, Serbie, Suisse et Turquie), soit un total de 32 pays. Il a été ensuite demandé à ces contacts d'identifier les organisations (centres / instituts / universités / écoles) qui consacrent leurs activités de recherche au domaine visé. C'est ainsi que 73 organisations ont pu être contactées. Un questionnaire leur a été remis afin d'obtenir des informations sur l'organisation elle-même (effectifs, personne de contact, site Internet), sur les thèmes de recherche (choix parmi une liste d'espèces, de produits et de disciplines ; mention des thèmes de recherche principaux, mention de 5 publications représentatives des recherches) et sur les projets de recherche proprement dits financés à l'échelle régionale/nationale ou européenne. A la date du 12 septembre 2006, 40 organisations issues de 19 pays différents avaient complété le questionnaire. Même si ce chiffre semble faible, on peut néanmoins considérer cet échantillon comme représentatif de l'organisation de la recherche en Europe puisqu'il comprend la majorité des grands centres actifs dans le domaine. A titre de comparaison, pour une communication à la *54th Reciprocal Meat Conference* de l'*American Meat Science Association*, Sleeth (2001) avait réalisé une enquête à l'échelle mondiale et avait tiré ses conclusions sur la base des réponses obtenues auprès de 22 institutions de recherches issues de 19 pays différents.

Il est impossible de présenter ici en détails l'ensemble des réponses [(3)]. Bien que celles-ci soient difficilement quantifiables voire objectivables, certaines conclusions peuvent être tirées de cet inventaire et/ou des commentaires qui les accompagnent.

La recherche est souvent menée de manière conjointe dans des centres de recherche et dans des structures d'enseignement supérieur (universités ou écoles). Le nombre de ces dernières est parfois élevé, cette observation étant particulièrement flagrante en Italie et en Espagne, pays grands producteurs de viande et de produits transformés et disposant d'un grand nombre d'institutions universitaires. A l'exception du Royaume-Uni, les grands pays européens et/ou les pays grands producteurs de viande disposent souvent d'un centre national/régional de recherches et/ou d'un centre technique dédié(s) partiellement ou totalement à la viande : Allemagne (BfEL ex-*Federal Centre Kulmbach*), Danemark (*Danish Meat Research Institute*), Espagne (*IRTA* Monells), France (*INRA, IFIP, ADIV*), Irlande (*Teagasc*), Italie (*SSICA*), Norvège (*Matforsk*), Pologne (*Meat and Fat Research Institute*). Ces centres font parfois état d'une restructuration récente ou de difficultés financières. On observe dans plusieurs pays une disparition progressive de la spécificité « viande » des centres de recherches et donc de leur visibilité. L'approche que l'on peut qualifier de « verticale » (recherches dans la filière viande) semble de plus en plus souvent faire place à une approche « horizontale » (recherches dans une discipline spécifique et cette discipline peut couvrir plusieurs filières voire l'ensemble du secteur agro-alimentaire). Cette observation peut s'expliquer –en partie au moins– par une spécialisation croissante des sciences, par la nécessité de disposer de moyens techniques très lourds et très coûteux qui ne sont pas envisageables au sein d'une seule filière. Ainsi, certaines compétences et les moyens techniques qui y sont associés se regroupent en « plate-formes » ou « centres de compétences », comme dans le domaine de la génomique par exemple (en France, on peut citer le Centre de Ressources GABIE). Il convient aussi de noter que la collaboration entre les centres de recherches eux-mêmes, voire entre les centres de recherche et l'industrie, se concrétise parfois sous forme de pôles de compétence à l'échelle régionale ou nationale. Le pôle de compétitivité « Innoviandes » (pôle de compétitivité français dans le domaine de la viande et des produits carnés) en est un exemple récent. Ce type d'organisation devrait favoriser plus encore la collaboration entre les centres de recherche, l'industrie et les fédérations (inter)professionnelles.

En conclusion de cette enquête, on retiendra qu'il semble très difficile de réaliser un inventaire complet et détaillé des équipes de recherche au niveau européen, inventaire qui ne pourrait pourtant que favoriser la collaboration entre ces équipes. Un tel inventaire n'est sans doute envisageable que dans le cadre d'une association européenne des Sciences du Muscle et Technologies de la Viande, association qui n'existe malheureusement pas à ce jour. Ironie de l'histoire, le « *European Meeting of Meat Research Workers* » (EMMRW) créé en 1955 dans le but de permettre aux chercheurs européens de mieux se connaître (Niinivaara, 2004), a été « dépassé » par son succès et s'est transformé en « *International Congress of Meat Science and Technology* » en 1987, car débordant largement le cadre européen. Si il n'existe pas d'association européenne dans le domaine des sciences du muscle et technologies de la viande, il en existe une dans un domaine plus vaste encore qu'est celui de la zootechnie (Fédération Européenne de Zootechnie). Ce type d'inventaire peut aussi s'envisager à l'échelle nationale mais les initiatives semblent peu fréquentes : l'Espagne fait état d'un réseau national et la Belgique dispose d'une association nationale (*Belgian Association of Meat Science and Technology*).

Il serait par ailleurs utile d'étudier l'organisation de la recherche en Europe à la lumière de ce qui se fait dans d'autres continents ou nations qui mènent également des recherches à une très grande échelle, par exemple aux USA ou en Australie.

---

[3] Les fiches établies sur base de cette enquête, de même qu'une présentation résumée pays par pays, peuvent être obtenues auprès de l'auteur

3. Thèmes de recherche

Pour ce qui concerne l'analyse des thèmes de recherche, deux approches ont été utilisées : la première est basée sur les résultats de l'enquête évoquée au point précédent ; la deuxième est basée sur l'analyse des publications parues en 2006 dans une revue scientifique très représentative des sciences du muscle et technologies des viandes, à savoir la revue *Meat Science*. Ces données seront complétées par un aperçu très succinct de quelques projets européens récents.

3.1. Sur la base de l'inventaire des organisations et des recherches

Tous centres de recherche confondus, la répartition des activités de recherche par espèce (bœuf, porc, mouton, volaille, autres), par produit (depuis le muscle *in vivo* jusqu'aux produits transformés) et par discipline est présentée au tableau 1.

Tableau 1.- Résultats de l'enquête : répartition globale des activités par espèce, produit et discipline (sur la base des 40 réponses reçues au 12/09/2006)

		Total	%
Espèce	Bœuf	30	**75%**
	Porc	32	**80%**
	Mouton	15	**38%**
	Volaille	24	**60%**
	Autre : Gibier sauvage	3	**8%**
	Autre : Lapin	3	**8%**
	Autre : Divers	3	**8%**
Produits	Muscle (*in vivo*)	10	**25%**
	Carcasse	29	**73%**
	Viandes fraîches	35	**88%**
	Produits carnés	30	**75%**
	Graisse / Lipides	27	**68%**
	Abats	7	**18%**
	Autre : Divers	3	**8%**
Disciplines	Nutrition animale	21	**53%**
	Bien-être animal	20	**50%**
	Génétique	17	**43%**
	Biochimie / métabolisme	22	**55%**
	Histologie	10	**25%**
	Hygiène	14	**35%**
	Microbiologie	19	**48%**
	Résidus / contaminants	12	**30%**
	Sensoriel / organoleptique	32	**80%**
	Valeur nutrionnelle	27	**68%**
	Technologie / procédés	28	**70%**
	Aspects économiques	9	**23%**
	Comportement consomm.	11	**28%**
	Gestion qualité	16	**40%**
	Autre : Divers	7	**18%**

Proportion des réponses	
	≥ 50%
	≥ 25%
	< 25%

Les espèces les plus souvent citées sont par ordre décroissant le porc (~80%), le bœuf (~75%) et la volaille (~60%), ce qui correspond plus ou moins au classement européen des espèces en termes de production et de consommation. Il convient de souligner le fait que ces équipes étudient très souvent plusieurs espèces. Il n'a cependant pas été possible de déterminer la part que chacune consacre à chaque espèce.

Pour ce qui concerne les produits étudiés, on observe ici aussi que la majorité des équipes ont un champ d'investigation relativement large puisqu'elles réalisent souvent leurs travaux à la fois au niveau de la carcasse, de la viande fraîche, des produits transformés et du tissu adipeux. Cela montre aussi leur intervention à différents stades de la filière viande.

Enfin, en ce qui concerne les disciplines ou les paramètres pris en compte, on observe que les qualités sensorielles/organoleptiques sont étudiées par la très grande majorité des équipes (~80%), ce qui démontre la priorité qui est réservée à cette thématique. La valeur nutritionnelle (~68%) et l'étude de l'effet des technologies/procédés (~70%) viennent en 2ème position. Les sciences du muscle proprement dites (biochimie, histologie p.ex.), la nutrition animale, le bien-être et la génétique sont moins souvent cités. Les aspects liés à la santé publique sont eux aussi moins souvent mentionnés. On ne peut pour autant conclure de ces dernières observations que les chercheurs se désintéressent

de ces aspects ; elles indiquent fort probablement que ces sujets sont traités par des équipes spécialisées qui ont une approche moins verticale de l'étude du muscle et de la viande que les équipes consultées. Ainsi par exemple, l'étude des résidus et des contaminants ou l'étude du génotype impliquent l'utilisation de moyens techniques très sophistiqués et des compétences très pointues qui ne sont présentes le plus souvent que dans des équipes spécialisées (cf. point 2). Enfin, les aspects économiques et l'étude du comportement du consommateur ont été les moins souvent cités par les équipes interrogées, respectivement ~23 et ~28% des réponses.

3.2. Sur la base de la littérature : Meat Sci., 2006 (J. Culioli, communication personnelle)

Les publications parues en 2006 dans la revue *Meat Science* (volumes 72, 73 et 74 -y compris les textes des conférences du *52nd International Congress of Meat Science and Technology, Dublin, Irlande*- totalisant 270 publications) ont été classées en fonction du pays du premier auteur, de l'espèce ou du produit étudié, du domaine et de l'objet de l'étude. A titre d'information et avec les réserves liées au caractère partiel de l'approche, signalons que les pays européens (17 pays de l'U.E. 25 + la Suisse + la Norvège) totalisent 173 publications, soit environ les 2/3 des publications de cette revue de diffusion mondiale. Le classement des pays par volume décroissant de leur production scientifique est le suivant : Espagne (64), Danemark (16), Irlande (15), Italie (13), France / Royaume-Uni (10), Grèce (8), Portugal (7), Allemagne (6), Belgique (5), Suède (4), Suisse et Norvège (3), Finlande / Pays-Bas / République Tchèque (2), Autriche / Pologne / Slovaquie (1). L'Espagne à elle seule totalise 1/4 des publications de l'année 2006 (1/3 des publications européennes), ce qui peut s'expliquer en bonne partie par le grand nombre d'organisations de recherches travaillant sur la viande dans ce pays. La France est dans le « top 6 » qui totalise les ¾ des publications européennes ; la Belgique est dans le « top 10 » qui totalise 89% des publications européennes.

Afin de préciser les activités et thèmes abordés, les publications issues des pays du « top 6 » ont été triées par :

- espèces/produits : bœuf, porc, mouton, volaille, lapin, produits transformés, autres et toutes ;
- domaines : facteurs de production, facteurs génétiques, facteurs (pré)abattage, facteurs technologiques, méthodes analytiques ;
- objets : qualité sensorielle, qualité microbiologique, qualité nutritionnelle, consommateur, carcasse, composition/structure, biochimie, traçabilité.

Le tableau 1 reprend les éléments marquants de cette analyse appliquée à chaque pays, tous centres de recherche confondus.

Pour ce qui concerne les espèces ou produits, on observe une prépondérance du porc dans les études menées au Danemark et du bovin dans les études menées en Irlande. Ces priorités de recherche s'expliquent par la prédominance respective de ces espèces dans la production de viande de ces pays. On observe aussi une tendance à la spécialisation en Espagne (porc) et en France (bovin) mais celle-ci est moins marquée que dans les 2 autres pays déjà cités. L'Italie et le Royaume-Uni se caractérisent par une répartition plus uniforme des espèces ou produits étudiés. On pourrait s'étonner de la quasi absence des études consacrées à la volaille. Cette observation est en contradiction avec les résultats de l'enquête (cf. 3.1.) qui révélaient qu'environ 60% des équipes de recherche travaillaient –au moins partiellement– sur la volaille. Ceci s'explique aisément par le fait que des revues scientifiques sont spécifiquement dédiées à cette espèce et diffusent donc préférentiellement les résultats de recherche correspondants.

Pour ce qui concerne les domaines d'étude, on peut retenir que les facteurs technologiques, les facteurs de production ou les facteurs de (pré)abattage arrivent en tête dans tous les pays, à l'exception de la France qui se caractérise par une attention particulière aux méthodes analytiques. Ces dernières sont également très étudiées au Royaume-Uni (1ère position *ex-aequo*) et en Italie (2ème position).

En ce qui concerne l'objet des études, cette analyse confirme les résultats de l'enquête puisque la qualité sensorielle fait l'objet du plus grand nombre d'études (plus d'1/3 en moyenne) avec un maximum en Irlande (73%) et un minimum en France (10% seulement). L'approche française semble différente puisqu'elle concerne principalement les aspects biochimiques et nutritionnels. Faut-il y voir le signe d'une recherche à caractère plus fondamental ?

Tableau 1.- Articles originaux publiés dans *Meat Sci.* en 2006 : répartition par espèces/produits, domaines et objets pour les pays qui figurent dans le « top 6 » européen.

	Espagne		Danemark		Irlande		Italie		France		Royaume-Uni	
Articles originaux	Σ = 64	24%	Σ = 16	6%	Σ = 15	6%	Σ = 13	5%	Σ= 10	4%	Σ = 10	4%
Espèce / produit	Porc	63%	Porc	69%	Bœuf	67%	Porc	38%	Bœuf	60%	Porc	40%
	Prod. transformés	52%	Bœuf	19%	Prod. transformés	20%	Bœuf	31%	Porc	30%	Bœuf	30%
	Bœuf	23%	Prod. transformés	13%	Toutes	20%	Mouton	23%				
Domaine	Fact. technologiques	41%	Fact. technologiques	38%	Fact. technologiques	67%	Fact. production	54%	Méthodes analytiques	60%	Fact. production	50%
	Fact. production	25%	Fact. (pré)abattage	25%	Fact. production	27%	Méthodes analytiques	31%	Fact. technologiques	20%	Méthodes analytiques	50%
	Fact. génétiques	19%	Fact. génétiques	19%	Fact.(pré)abattage	20%					Fact. technologiques	30%
			Méthodes analytiques	19%								
Objet	Qual. sensorielles	34%	Qual. sensorielles	50%	Qual. sensorielles	73%	Qual. sensorielles	31%	Biochimie	60%	Composition/structure	40%
	Composition/structure	34%	Biochimie	44%	Biochimie	20%	Composition/structure	31%	Qual. nutritionnelles	30%	Qual. sensorielles	30%
							Qual. microbiol.	23%	Composition/structure	30%	Carcasse	20%

Fréquence des termes	
	≥ 50%
	≥ 25%
	< 25%

3.3. Sur la base des projets européens (FP5 & FP6)

Les projets de recherche financés par l'Union Européenne constituent un indicateur très objectif des recherches menées à l'échelle européenne. Il est cependant difficile de faire état de l'ensemble des projets liés à la viande. Pour s'en rendre compte, il suffit de faire une recherche rapide sur base du mot-clé « *meat* » dans « Cordis », site de l'U.E. qui recense les projets, pour constater que le nombre des projets financés par l'U.E. est supérieur à 200. Nous nous limiterons dans le cadre de cet exposé aux projets majeurs des récents 5ème et 6ème programmes-cadres (FP5 et FP6).

3.3.1. EUPIGCLASS

Ce projet impliquant 20 partenaires de 15 pays européens avait pour objectif la « standardisation de la classification des carcasses de porc grâce à des procédures statistiques améliorées et à des nouveaux développements technologiques ».

Ce projet a révélé la nécessité de nouvelles études consacrées à la précision des méthodes de dissection utilisées pour la prédiction de la teneur en viande maigre des carcasses. Des recommandations ont été formulées concernant l'échantillonnage, la dissection et les méthodes statistiques lors de l'implémentation de nouveaux équipements de classification au niveau national. Ces recommandations rassemblées dans un manuel peuvent être considérées comme un complément à la législation européenne actuelle couvrant ce domaine. Un programme d'assurance qualité a été développé pour le développement de programmes nationaux de contrôle du classement par des organisations indépendantes (G. Daumas, communication personnelle).

Titre du projet : *Standardisation of pig carcass classification in the EU through improved statistical procedures and new technological developments*
Référence : G6RD-CT-1999-00127 (= FP5) ; Durée : 01/02/2000 – 01/11/2003
Coordinateur : Danish Meat Research Institute, Roskilde (Contact : K.B. Madsen)
Partenaire français du projet : IFIP / Institut Technique du Porc (Contact : G. Daumas)
Pour plus d'infos, voir : http://www.eupigclass.net/

3.3.2. HEALTHYBEEF

Ce projet regroupant 7 partenaires de 5 pays avait pour objectif l' « accroissement de la teneur en acides gras bénéfiques (acides gras n-3 et CLA) dans la viande bovine et l'amélioration de la qualité de la viande pour le consommateur ».

Ce projet a contribué à une meilleure compréhension des facteurs de variation de la composition en acides gras (en particulier les facteurs liés aux systèmes de production) et a mis à la disposition des industriels différentes options ou pistes permettant d'augmenter les apports en acides gras bénéfiques tout en préservant l'aptitude à la conservation et les qualités sensorielles de la viande attendues par le consommateur, en particulier sa flaveur (N. Scollan, communication personnelle).

Titre du projet : *Enhancing the content of beneficial fatty acids in beef and improving meat quality for the consumer*
Référence : QLK1-CT-2000-01423 (= FP5) ; Durée : 10/01/2000 – 30/09/2003
Coordinateur : Institute of Grassland and Environmental Research, UK (Contact : N. Scollan)
Partenaire français du projet : INRA / UR Recherche des Herbivores (Contact : M. Doreau)
Pour plus d'infos, voir : http://www.healthybeef.iger.bbsrc.ac.uk/

3.3.3. TRADISAUSAGE

Ce projet regroupant 10 partenaires issus de 6 pays avait pour l'objectif l' « évaluation et l'amélioration de la sécurité sanitaire de saucissons sec traditionnels, du producteur au consommateur, tout en préservant leurs qualités typiques ».

Cette étude a mis en relief l'importance des petites unités de production de saucissons secs dans le sud (FR, ES, IT, PT, GK) et l'est (SK) de l'Europe. Elle a permis de définir plusieurs groupes de consommateurs en fonction de leurs habitudes d'achat, de conservation et de consommation. L'évaluation de la sécurité sanitaire a porté sur les stades de la

production et de la consommation et a été complétée par une analyse quantitative du risque qui a permis de relativiser le risque lié à *Listeria monocytogenes* dans ce type de produit. Des recommandations ont été formulées pour améliorer l'hygiène et la sécurité des produits (par exemple l'introduction de procédures de désinfection et le développement de cultures starters). Ces observations et ces recommandations ont donné lieu à un guide de bonnes pratiques d'hygiène[4] adaptées à des petites unités de production (R. Talon, communication personnelle).

Titre du projet : *Assessment and improvement of safety of traditional dry sausages from producers to consumers*
Référence : QLK1 CT-2002-02240 ; Durée : 01/01/2003 – 31/12/2005
Coordinateur : INRA, Unité Microbiologie (Contact : R. Talon)
Pour plus d'infos, voir : http://www2.clermont.inra.fr/tradisausage/index.htm

3.3.4. SUSPORKQUAL

Ce projet regroupant 9 partenaires de 7 pays européens concernait le « développement durable dans la production de porcs de qualité nutritionnelle et sensorielle améliorée sur base de stratégies nutritionnelles en production plein air ».

Une étude réalisée sur les consommateurs a permis de cerner leurs attentes et attitudes et a révélé le rôle crucial de l'étiquetage, la nécessité d'une différentiation nette d'un tel type de viande (aspect clairement différent d'une viande conventionnelle) et a permis d'estimer le surcoût acceptable par le consommateur (<20%). Ce projet a permis de quantifier et mieux comprendre les performances et le comportement des porcs produits en plein air ou en production biologique, en relation avec les caractéristiques de la viande. Des recommandations ont été formulées en matière de stratégie de production (par exemple, difficulté d'une stratégie reposant sur la croissance compensatrice, importance de l'effet race sur les caractéristiques sensorielles et nutritionnelles, utilisation de phytases, bien-être). On retiendra par ailleurs que les teneurs en contaminants observées dans les viandes issues d'un tel système de production étaient dans les limites exigées par l'U.E. (Andersen et Nannerup, 2004).

Titre : *Sustainability in the production of pork with improved nutritional and eating quality using strategic feeding in out-door production*
Référence : QLK5-CT-2000-00162 (= FP5) ; Durée : 01/01/2001 – 30/06/2004
Coordinateur : KVL, Dept Dairy & Food Sci., Frederiksberg, DK (Contact : A. Karlsson)
Partenaires pour la France : INRA, Theix (Contacts : E. Dransfield, C. Terlouw) ; INRA, Rennes (Contacts : M. Bonneau, B. Lebret)
Pour plus d'infos, voir : http://www.agrsci.dk/anf/Susporkqual-Folder/Susporkqual/index.html

3.3.5. GEMQUAL

Ce projet concerne l'évaluation de la composante génétique de la variation de la qualité de la viande bovine. Il regroupe 9 partenaires issus de 5 pays.

L'étude a porté sur des taurillons de 15 races différentes qui ont été produits dans des conditions similaires d'élevage afin de minimiser l'influence d'autres facteurs de variation et à partir desquels de nombreux paramètres de qualité ont été mesurés. Ces données doivent permettre de tester des gènes candidats et de confirmer les effets de QTL (*Quantitative Trait Loci*) particuliers sur la qualité de la viande. Ce projet vise plus particulièrement à identifier des SNP (*Single Nucleotide Polymorphisms*) qui pourront être utilisés comme marqueurs des gènes, pouvant influencer la qualité de la viande.

En France, ce projet est complété par deux projets nationaux en réponse à l'appel d'offre GENANIMAL (financement ANR, APIS-GENE) : (i) le projet MUGENE[5] qui vise à déterminer le profil d'expression des gènes associé à la production d'une viande de bonne qualité en fonction du potentiel de croissance musculaire et des facteurs d'élevage et à découvrir de nouveaux marqueurs moléculaires ou des gènes polymorphes qui contrôlent la qualité de la viande ; (ii) le projet QUALVIGENE[6] qui évaluera sur un grand nombre d'animaux (environ 3550 taurillons) l'intérêt des tests génétiques aujourd'hui disponibles ou issus des programmes précédents (MUGENE, GEMQUAL).

Titre : *Assessment of genetic variation in meat quality and the evaluation of the role of candidate genes in beef characteristics*
Référence : QLK5-CT-2000-00147 (= FP5) ; Durée : 01/02/2001 – 31/01/2006
Coordinateur : Roslin Institute, Edinburgh, UK (Contact : J. Williams)
Partenaires pour la France : Unité de Génétique Moléculaire Animale UMR1061 INRA-Univ. Limoges (Contact français de WP : H. Leveziel) ; INRA / U. Recherche Herbivores (Contact : J.-F. Hocquette)
Pour plus d'infos, voir : http://www.gemqual.org

3.3.6. TYPIC

Ce projet regroupant 9 partenaires de 6 pays ne concernait pas exclusivement le domaine « viande » puisqu'il a porté à la fois sur le jambon sec et le vin rouge. L'objectif principal était de mesurer les préférences du consommateur en matière d'appellation d'origine. L'objectif secondaire était de caractériser ces produits au moyen d'analyses physico-chimiques et de développer une méthode d'évaluation de la typicité.

---

[4] « *Hygienic practices recommendations for traditional fermented sausages – Practical guide* », mai 2006 Auteur : ADIV (Contact : S. Christieans et J.-P. Frencia).
[5] Titre du projet : Approche intégrée combinant la génétique, la génomique et la biologie musculaire pour gérer la qualité de la viande bovine selon le potentiel de croissance des animaux et les facteurs d'élevage – Coordinateur : INRA / UR Herbivores (J.-F. Hocquette)
[6] Titre du projet : Détection et validation de gènes impliqués dans les qualités de la viande bovine des trois principales races à viande en France – Coordinateur : INRA / SGQA, Jouy-en-Josas (G. Renand) & UNCEIA, Paris (A. Malafosse)

Ce projet a montré que, au-delà de leur préférence pour des produits de leur région d'origine, un groupe limité mais significatif de consommateurs est ouvert aux appellations d'origine étrangère. Les produits d'appellation d'origine présentent souvent des caractéristiques spécifiques liées à la matière première et au procédé et leur analyse physico-chimique révèle des profils sensoriels particuliers. Cette caractérisation physico-chimique peut s'avérer très utile pour légitimer plus encore la politique européenne en matière d'identification et d'étiquetage des appellations d'origine (G. Giraud, communication personnelle).

Titre : *Typical food products in europe : consumer preference and objective assessment*
Référence : QLK1-CT-2002-02225 (= FP5) ; Durée : 01/01/2003 – 31/12/2005
Coordinateur : ENITA Clermont-Ferrand (Contact : G. Giraud)
Partenaires pour la France : id. + INRA/ENITIAA Nantes + INRA Montpellier
Pour plus d'infos, voir : http://www.typic.org

3.3.7. Q-PORKCHAINS

Ce projet, encore en négociation et regroupant 51 partenaires, répond au besoin de développement de filières innovantes, intégrées et durables de production de viande de porc de haute qualité répondant aux demandes des consommateurs. La stratégie du projet est de développer et de tester des approches perfectionnées et multidisciplinaires pour l'identification, la caractérisation, la prédiction et la maîtrise de la qualité de la viande et des produits de porc à divers stades de la filière et dans différents systèmes de production. Ce projet prendra en compte : le comportement et les préférences des consommateurs ; les systèmes de production ; le développement des produits ; l'intégration et le développement durable de la filière ; les dernières avancées en génomique et biologie ; le développement de modèles de prédiction de la qualité, de la sécurité sanitaire et du bien-être. La valorisation des résultats reposera sur la participation active des PME et grands industriels à des filières pilotes, la dissémination des connaissances et technologies par la formation et la constitution de réseaux (L. Andreasen, communication personnelle).

Titre : *Improving the quality of pork and pork products for the consumer : development of innovative, integrated, and sustainable food production chains of high quality products matching consumer demands*
Référence : en négociation (=FP6) ; Durée prévue : 2007-2011
Coordinateur : Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum, DK (Contact : A. Karlsson)
Contact pour la France : INRA, Unité SENAH (M. Bonneau)

3.3.8. PROSAFEBEEF

Ce projet, regroupant au stade actuel de la négociation 42 participants européens et non européens, s'inscrit dans le contexte global d'optimalisation de la qualité et de la sécurité de la viande bovine. Il couvrira donc les aspects liés à la sécurité sanitaire et aux qualités nutritionnelles et sensorielles, ainsi que les attentes du consommateur. Ce projet mettra en oeuvre en particulier divers outils et méthodologies de maîtrise de la qualité : évaluation quantitative des risques biologiques et chimiques, stratégies de maîtrise de la sécurité de la fourche à la fourchette, modèles de prédiction de la qualité sensorielle (notamment australiens), outils biochimiques et moléculaires. Ces outils, quand bien même ils auraient déjà été utilisés antérieurement, doivent être testés et validés dans les conditions européennes.

Titre : *Improving the quality and safety of beef and beef products for the consumer in production and processing*
Référence : en négociation (=FP6) ; Durée prévue: 2007-2011
Coordinateur : Teagasc, Irlande (Contact : D. Troy)
Contacts pour la France : INRA, plusieurs laboratoires (Contacts : J. Culioli + J.-F. Hocquette) ; UNCEIA (Contact : A. Malafosse)

4. Conclusions / Perspectives

De cet inventaire, non exhaustif mais représentatif des structures et des thèmes de recherche dans le domaine des sciences du muscle et technologies de la viande en Europe, on peut tirer plusieurs conclusions.

Les structures de recherche évoluent au fur et à mesure de l'évolution de ces sciences : même si l'approche est encore souvent « généraliste », la spécialisation et les moyens toujours plus grands que la recherche nécessite entraînent parfois une réorganisation des structures autour d'une discipline, voire d'un outil, permettant un niveau de recherche extrêmement pointu. Il faudrait cependant veiller à ce que cette spécialisation des compétences ne déconnecte pas les chercheurs de la réalité du terrain et des préoccupations du secteur.

On a observé ces dernières décennies une évolution très spectaculaire des relations entre les unités/centres de recherche. Ceux-ci collaborent de plus en plus à un niveau européen, voire mondial. Le mode de financement de la recherche explique en grande partie cette évolution. Les grands programmes de recherche européens (par exemple programmes-cadres) privilégient les regroupements de compétences et de moyens autour de très grands projets impliquant parfois plusieurs dizaines de partenaires et des budgets très importants (jusqu'à des montants de l'ordre de 15.000.000 €). La coordination de tels projets intégrés est très lourde et nécessite des moyens dont ne disposent pas tous les centres.

Les thèmes recensés semblent répondre clairement aux préoccupations de la société et du consommateur en particulier : optimisation des qualités sensorielles, amélioration de la qualité nutritionnelle, sécurité sanitaire, traçabilité/authenticité, développement durable, bien-être animal, …. Ils prennent également en compte les besoins des acteurs de la filière :

méthodes de prédiction et systèmes de gestion de la qualité, innovation et compétitivité, comportement des consommateurs, …

Cet inventaire n'est cependant que partiel… Malgré l'évolution très spectaculaire des moyens techniques de communication et de diffusion de l'information, on constate qu'il est difficile de faire, dans des délais relativement courts, un inventaire complet des structures de recherche en Europe. Un tel inventaire présenterait un intérêt évident : il permettrait de favoriser plus encore les collaborations entre les équipes, tout en évitant d'inutiles doublons.

5. Références bibliographiques

Andersen H.J., Nannerup L., 2004. Proceedings of EU Workshop "Sustainable pork production. Welfare, quality, nutrition and consumer attitude, Copenhague, 17-24 juin 2004.

Institute of Food Science and Technology, 2005. [en ligne] Adresse URL : http://www.ifst.org/site/cms/contentviewarticle.asp?article=228

Niinivaara F.P., 2004. Proceedings of the 50th International Congress of Meat Science and Technology, Helsinki, 8-13 août 2006.

Sleeth R.B., 2001. Global Meat Research Initiatives. In : Proceedings of the 54th Annual Reciprocal Meat Conference, American Meat Association, pp. 1-20.

Remerciements

À J. Culioli pour ses conseils, son aide précieuse pour la réalisation de l'inventaire des recherches et l'analyse des publications ; à J.-F. Hocquette pour ses conseils et à toutes les personnes contactées pour leur collaboration.

SESSION 1

Socio-Economie de la filière

Animateurs : Pascal Mainsant (Inra-Ivry)
et Bernard Fostier (Ifip)

Conférences

L'ELEVAGE FRANÇAIS ET LA VIANDE BOVINE

A L'HORIZON 2012

Quelles évolutions possibles après la réforme de la PAC ?

J C GUESDON C. PERROT
Département Economie, Institut de l'Elevage

La réforme de la PAC qui résulte de l'accord de Luxembourg de juin 2003 représente un nouveau changement de cap, notamment pour l'élevage laitier et l'engraissement en viande bovine et par conséquent pour l'ensemble des productions bovines, même si elle s'inscrit dans une orientation générale déjà engagée avec les réformes successives de 1992 et de 1999. Avec la négociation OMC en cours cet été 2006 qu'elle était censée faciliter, cette réforme pourrait entraîner des évolutions importantes au niveau des exploitations, des marchés et des territoires concernés par l'élevage bovin ou ovin (lait ou viande). Ces impacts sont néanmoins particulièrement difficiles à appréhender du fait, de la dérégulation associée ou provoquée par cette nouvelle réforme, de ses applications variées et divergentes selon les pays, d'une plus grande liberté offerte aux producteurs dans le choix des productions et d'une ouverture croissante des marchés avec l'issue probable de la négociation OMC en cours.

Bref, si les particularités et les enjeux à l'intérieur de chacune des filières animales sont suffisamment forts pour que l'expertise soit réalisée filière par filière, on sent bien aussi toutes les interactions et toutes les concurrences que cette réforme pourra entraîner entre les différentes productions agricoles, en particulier entre le lait et la viande bovine et entre les cultures et l'élevage.

Méthodologie : ce travail du Département Economie et du Département Actions Régionales de l'Institut de l'Elevage s'est articulé en 5 étapes :

L'identification des facteurs de changements, à dire d'experts,

Les simulations pour analyser l'intérêt économique des différentes stratégies des éleveurs, à partir des cas types du réseau d'élevages de l'Institut,

Le test et l'approfondissement de ces scénarios auprès de producteurs de bovins et d'ovins au travers d'entretiens collectifs,

La quantification des stratégies des éleveurs de bovins viande à partir d'un sondage,

La représentation statistique et géographique de l'élevage en 2012

Quelles perspectives en terme de vaches laitières et allaitantes ?

L'évolution du nombre de vaches laitières et allaitantes est un facteur clé de l'évolution à attendre en matière de production de viande bovine.

Comment pourrait évoluer ce cheptel reproducteur bovin au cours des prochaines années ? En partant de la situation actuelle (2003) à 8 millions de vaches (moitié laitières, moitié allaitantes), le **scénario tendanciel** pourrait se traduire par une baisse de 400 000 vaches laitières, du fait d'une progression mesurée des rendements laitiers accompagnant une restructuration du secteur toujours beaucoup plus lente qu'ailleurs en Europe. Dans ce scénario, le nombre de vaches allaitantes serait stable même chez les éleveurs laitiers ou ex-laitiers (les exploitations qui se reconvertissent sont plutôt petites) : le nombre total de vaches serait alors de 7 600 000.

● **Evolution possible du nombre de vaches en France (en milliers)**

	Expl.avec références laitières			Autres exploitations		Total vaches
	Vaches laitières	Vaches allaitantes		Vaches allaitantes		
2003	4 000	500		3 500	4 000	8 000
			reconversion lait->viande (vaches allaitaitens en			
2012 scénario tendanciel	3 600	370	130	3 500	4 000	7 600
2012 scénario lait bas & viande bas	3 300	230	370	2 920	3 520	6 820
2012 scénario lait bas & viande haut	3 300	360	740	3 650	4 750	8 050

Source : Projections Institut de l'Elevage

Le **nombre maximal de vaches** est obtenu en combinant un scénario « bas » sur le lait (c'est-à-dire avec des baisses de prix supérieures aux compensations, entraînant une restructuration accélérée) et « haut » sur la viande (c'est-à-dire le maintien de bons prix). Dans ce scénario, les grandes exploitations laitières qui se reconvertissent privilégient la production de viande. Parallèlement les exploitations allaitantes recapitaliseraient en se rapprochant des chargements atteints en 2000. Le nombre de vaches allaitantes atteindrait 4 750 000 soit 450 000 de plus qu'en 2000. Le nombre total de vaches (laitières et allaitantes) serait alors quasiment stable par rapport à 2003, sans retrouver son niveau de 2000 (8 500 000).

A l'opposé le **nombre minimal de vaches** est obtenu en combinant les scénario « bas » sur le lait et la viande. La baisse du nombre de vaches laitières serait alors deux fois plus forte que dans le scénario tendanciel (restructuration et gains de productivité accrus). Les grandes exploitations laitières qui se reconvertissent privilégiant alors les productions végétales et n'utilisant qu'a minima les 500 000 ha de surfaces toujours en herbe (et non les 900 000 ha de SFP de leur période laitière). La forte restructuration du secteur allaitant (1/3 d'exploitations en moins par rapport au scénario tendanciel) se traduirait aussi par une réduction de leur cheptel entraînant une extensification fourragère mais une moindre intensification du travail.

La capacité à engraisser : la question.

Comme pour les vaches allaitantes le secteur de l'engraissement est marqué par une forte diversité de producteurs et une certaine atomisation de la production. Une estimation récemment réalisée à partir de la BDNI montre que 33 000 exploitations concourent à la production de 900 000 jeunes bovins (en 2004) dont 285 000 à partir de broutards achetés, le reste étant produit à partir de veaux ou broutards nés sur les exploitations dans lesquelles ils sont engraissés.

Parmi ces producteurs, on peut distinguer 15 000 naisseurs-engraisseurs allaitants qui produisent essentiellement des taurillons à partir de leurs propres broutards (les achats complémentaires reculant tendanciellement avec l'agrandissement des exploitations), 16 500 éleveurs laitiers avec des systèmes d'élevage plus variés (présence de vaches allaitantes une fois sur 2, achats complémentaires ou exclusifs de broutards plus fréquents), et 1 800 engraisseurs de jeunes bovins « spécialisés » (sans vaches) dont l'activité d'engraissement est fréquemment associée à des cultures de vente.

● **Producteurs de jeunes bovins. états des lieux 2003**

Systèmes	Eleveurs 2003-2004	Jeunes bovins 2004	dont issus de broutards achetés	
Allaitants Naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins	15 000	355 000	80 000	
Laitiers + taurillons	8 500	225 000	110 000	
Mixtes vaches laitières + vaches allaitantes + taurillons	8 000	180 000	65 000	
Engraisseurs spécialisés	1 800	140 000	140 000	
Total	33 300	900 000 (moy = 27)	285 000	32%

Source : Institut de l'Elevage, estimation d'après BDNI

Pour les engraisseurs spécialisés et les éleveurs laitiers, l'hétérogénéité des tailles d'atelier est particulièrement forte (moins de 500 engraisseurs produisent plus de 90 jeunes bovins/an). Alors que les naisseurs-engraisseurs sont plus homogènes et représentent le pôle de stabilité du secteur.

En effet bien que la PSBM et 60% de la PAB soient découplés pour tous, le raisonnement économique semble devoir être différent entre un producteur qui a l'habitude de « finir » les animaux qu'il fait naître (le plus souvent mâles et femelles) et un autre qui achète tous les ans des animaux maigres pour les engraisser.

En l'absence de baisse de prix, le découplage est un peu formel pour les naisseurs-engraisseurs...

Si l'on se place dans l'hypothèse centrale d'un maintien des prix, pour les naisseurs-engraisseurs, le découplage pourrait n'être que «formel». En l'absence de baisse de prix, le revenu est préservé toutes choses égales par ailleurs puisque les primes ne disparaissent pas ; elles sont versées différemment. Il n'y a donc pas de pression forte obligeant à chercher une réorientation du système d'élevage en vendant plus tôt et sans l'engraisser, un animal que l'on a fait naître. C'est particulièrement le cas pour la majorité des exploitations dans lesquelles l'engraissement se fait à partir du maïs ensilage. Lorsque celui-ci est réalisé avec une ration sèche, la possibilité de vendre des céréales et des broutards à la place des taurillons rend le système plus flexible. La stabilité de ce système naisseur-engraisseur est également attestée par le sondage réalisé l'été 2005 auprès de 267 naisseurs-engraisseurs[1]. Très peu envisagent de faire évoluer leur profil de vente et les évolutions-simplifications se feraient plutôt en faveur du taurillon…

...en revanche, sur un broutard acheté, tout change

Au contraire, pour une production basée sur l'achat de broutards qui donnaient jusqu'à présent lieu au versement de PSBM, le découplage est beaucoup plus « visible », puisqu'il modifie totalement l'espérance de gain sur l'achat du maigre (jugé cher par les acheteurs français). Certes le revenu, toutes choses égales par ailleurs, n'est pas non plus modifié si les achats se poursuivent. Mais vu le niveau des marges hors primes, la tentation de ne pas acheter pourrait être plus forte.

Néanmoins, il existe aussi des facteurs de stabilisation pour ces systèmes. L'existence d'une marge hors primes, même faible, peut compenser des charges fixes liées au bâtiment ou aux salariés.

Enfin ces exploitations avec achats de broutards, notamment les engraisseurs spécialisés, étaient moins concernées par la PSBM, lorsqu'elles dépassaient le plafond de 90 têtes, lorsqu'elles avaient préféré privilégier les aides SCOP sur les surfaces destinées aux jeunes bovins, voire lorsqu'elles achetaient des animaux déjà primés. Et l'on sait d'après une estimation réalisée précédemment avec l'OFIVAL pour l'année 2002, que 25% des taurillons produits par les engraisseurs spécialisés ne touchaient pas la PSBM (66% en Champagne-Ardenne).

D'après les données recueillies lors du sondage chez les engraisseurs spécialisés, le bilan pourrait en définitive être assez modeste tout en confirmant une forte mobilité pour ces systèmes d'exploitations. Lorsque l'on cumule les intentions d'arrêts (40% des exploitations), de croissance (une exploitation sur 3) et de décroissance, le nombre total de jeunes bovins produits pourrait ne baisser que de 6%. En effet, les arrêts concernent plutôt des petits ateliers alors qu'un 1/3 des éleveurs sondés a des projets de croissance importante quoique ne dépassant qu'exceptionnellement 200 têtes pour l'atelier final.

Si les éléments disponibles aujourd'hui ne permettent pas de prévoir une baisse significative de la production, les analyses ultérieures devront suivre l'évolution des 3 catégories de producteurs. Les naisseurs engraisseurs allaitants continueront-ils à privilégier l'agrandissement et leur système d'élevage ? Les projets (notamment d'investissement) évoqués par une minorité d'engraisseurs spécialisés seront-ils réalisés ? Les éleveurs laitiers abandonneront-ils les achats de broutards ou l'engraissement de leurs veaux si des accroissements de production laitière sont possibles ?

« Une restructuration tranquille » ?

Si une forte productivité du travail n'est pas la condition suffisante à la survie économique des éleveurs et à leur « bien-être économique », elle apparaît néanmoins bien comme une condition nécessaire notamment dans les périodes de baisse des prix.

D'ailleurs, dans le passé, cette augmentation de productivité (soit par augmentation des volumes de production par exploitation, soit par réduction de la main-d'œuvre, soit les deux), a été constante, importante et nécessaire au simple maintien du revenu par travailleur.

---

[1] Enquête BVA – SOFRES réalisée à la demande de l'Institut de l'Elevage

C’est ainsi qu’au cours des quinze dernières années, en lait comme en viande, l’augmentation de la dimension des exploitations a été de 1 à 2 ha par an et que, parallèlement, la croissance annuelle du cheptel ou de son équivalent en lait a été de l’ordre de 1 vache. Pour autant, le revenu par travailleur a tout juste pu être stabilisé. La contradiction entre le souhait des éleveurs qui, dans les enquêtes qualitatives, déclarent en général «préférer des voisins que des hectares», mais qui, en pratique, sont poussés à la croissance est bien compréhensible : c’est la nécessité économique imposée par les choix politiques qui fait loi.

Mais la productivité du travail fortement corrélée à la restructuration, n’est pas le seul facteur sur lequel les éleveurs peuvent jouer pour sauvegarder ou améliorer leur revenu. De nombreux travaux ont en effet mis en évidence les marges de manœuvre dont dispose la grande majorité des producteurs en améliorant leur efficacité économique : par une meilleure maîtrise technico-économique de leur système et donc une maîtrise des charges opérationnelles (engrais / aliment du bétail, etc.) et structurelles (matériel).

La vitesse de la restructuration est ainsi à la fois dictée par les choix antérieurs (la pyramide des âges, qui à l’instant “t” pèse de manière déterminante, est largement le produit des politiques d’installation des trois décennies précédentes) et par les choix ou le contexte du moment : la politique d’installation et les niveaux de prix ou le niveau d’emploi dans les autres secteurs par exemple. Ce sont ces contextes qui nous ont conduit à privilégier des scénarios d’évolutions structurelles relativement lentes et le maintien possible des productions, voire de petites progressions du cheptel allaitant.

Relativement peu de surfaces et de droits à produire libérés

La pyramide des âges et les structures en élevage sont aujourd’hui telles que les cessations d’activité d’élevage à l’horizon 2012 s’annoncent nombreuses en nombre d’exploitations (100 000, soit une sur trois pour l’ensemble lait et viande bovin/ovin) mais réduites en termes de surfaces et de productions «libérées».

Ces arrêts d’activité devraient concerner des ateliers d’élevage deux fois plus petits que la moyenne en raison du poids des très petits élevages mais aussi du lien entre dimension et pérennité. Dans toutes les catégories d’élevage, les exploitations sans succession connue ont un cheptel inférieur d’un tiers à celles qui pourraient être reprises.

Dans les systèmes encadrés que restent les secteurs du lait et de la viande (les quotas pour les uns, les références de droits à primes pour les autres), les «références» libérées resteront limitées dans la majorité des régions et pour la majorité des éleveurs. D’autant que la logique de baisse de prix pourrait augmenter la demande en moyens de production, alors que le découplage des aides et le report de l’âge de la retraite pourraient entraîner une prolongation de l’activité agricole, au-delà de ce qui se serait passé s’il n’y avait pas eu les «DPU».

L’inéluctable recherche de gains de productivité du travail pourrait devenir dure à obtenir, rare et coûteuse (…et donc moins efficace) : le phénomène pourrait être amplifié par les DPU qui, rente pour les uns (les sortants), représentera une charge pour les jeunes qui s’installent même si la gestion à la française se propose d’échapper à cette gestion marchande des DPU. Le contexte pourrait ainsi devenir particulièrement délicat pour les installations.

La liberté apportée par le découplage n’est-elle pas en partie virtuelle ?

À la logique du découplage en oeuvre, devrait correspondre en théorie la logique de spécialisation des systèmes. L’importance de la mixité des systèmes (lait/viande, élevage/cultures, etc.) renforcée dans le secteur de l’élevage depuis les quotas laitiers, n’est en effet pas le plus souvent le produit d’une efficacité supérieure de ces systèmes, mais une évolution choisie «faute de mieux» par des agriculteurs poussés à rechercher des gains de productivité du travail en investissant dans les secteurs non contraints par des quotas.

La plus grande latitude d’orientation des productions apportée par le découplage des aides et le souhait des éleveurs d’alléger la charge de travail par la simplification des systèmes devraient théoriquement conduire les éleveurs à échanger leurs productions en fonction de leur efficacité maximale qui peut être fonction des contraintes pédo-climatiques, de leur situation en matière de succession, de leur environnement filière, etc.

La spécialisation des exploitations et des régions qui pourrait théoriquement résulter du découplage des soutiens, sera néanmoins en France notamment, largement contrariée par la gestion « territoriale » des droits à produire ou à primes. Cet effet théorique du découplage pourrait bien ainsi s’avérer assez virtuel.

En conclusion

Un scénario tendanciel serein…

La restructuration envisagée comme scénario tendanciel réaliste pour le secteur de la viande bovine correspond à une restructuration «douce», qui capitalise et conforte le noyau dur mis en place ces deux dernières décennies. Elle repose sur deux hypothèses. Premièrement le maintien des prix élevés actuels, c'est-à-dire un marché un peu déficitaire qui serait «protégé» par des «barrières non tarifaires» liées aux exigences et garanties qualitatives et de sécurité exprimées par des consommateurs, exigences imposées aux importations comme à la production intérieure. Deuxièmement le maintien d'un budget agricole important, qui lui aussi serait favorable au renforcement d'une agriculture et d'un élevage qui protège la qualité des produits, des terroirs et de l'environnement.

...ou un scénario de largage de l'élevage européen ?

Une politique européenne de dépendance alimentaire qui s'appuierait sur une distribution et des consommateurs uniquement préoccupés par des approvisionnements au plus bas prix pourrait évidemment conduire à un scénario inverse. Le scénario catastrophe avec alignement des prix sur le niveau mondial (prix inférieurs de 40% aux prix actuels) et restructuration massive (c'est à dire le départ d'une large partie des éleveurs du noyau dur) ne peut être nous semble-t-il un véritable scénario alternatif pour l'Union européenne qui ne peut compter sur le reste de la planète ni pour sa sécurité alimentaire, ni pour la protection de ses territoires. Ce scénario de largage semble peu probable, c'est néanmoins l'enjeu de la négociation OMC actuelle.

Quoi qu'il en soit, l'évolution probable à échéance de 10 ans est celle «de moins d'aides et plus de concurrence». Ce sont ces tendances qu'il faudra éviter de conjuguer avec des prix trop bas et des conditions (réglementaires) de production déloyales pour l'élevage européen, faute de quoi l'indépendance alimentaire de l'Europe, tout au moins sa relative autonomie en viande bovine pourrait effectivement être remise en cause.

Références bibliographiques :

Guesdon JC., Perrot C. & Co, 2006, Institut de l'élevage, Dossier Economie de l'Elevage, N° 353, janvier 2006, « L'élevage français à l'horizon 2012. Quelles évolutions possibles après la réforme de la PAC ? », 86 p.

Guesdon JC., Perrot C. & Co, 2004, Institut de l'élevage, Dossier Economie de l'Elevage, N° 340, novembre 2004, « Réforme de la PAC et production laitière : scénarios d'évolution à l'horizon 2010-2012 », 70 p.

DISCUSSIONS A L'OMC : RISQUES POUR LES FILIERES VIANDES EN EUROPE LE CAS DE LA VIANDE PORCINE, A LA LUMIERE DES AUTRES VIANDES

RIEU M.

Pôle Économie, IFIP – Institut du Porc
34 Boulevard de la Gare, 31 500 Toulouse

Introduction

L'Organisation Mondiale du Commerce (OMC) tente, avec difficulté, dans le courant de 2006, de conclure son cycle de négociations dit « cycle de Doha » ou « cycle du développement ». Après avoir annoncé la nécessité d'une échéance impérative pour fin juillet 2006, les négociateurs ont laissé entendre que fin 2006 reste une date possible pour parvenir à un accord. Dans le cas contraire, la conclusion du cycle pourrait être repoussée de quelques années.
Le précédent cycle de négociations sur le commerce international (dit « Cycle de l'Uruguay ») avait été conduit dans le cadre du GATT (General Accords on Tariffs and Trade), transformé en OMC à l'issue de ce celui-ci. Il s'était conclu en 1994 par les Accords de Marrakech, mis en œuvre à partir de juillet 1995. Ce cycle de l'Uruguay était le premier à aborder la question des produits agricoles.
Le cycle actuel a pour ambition de pousser plus loin les résultats du précédent et d'accroître la circulation internationale des produits agricoles en réduisant les politiques de soutien, les aides aux exportations et les obstacles aux importations mis en œuvre par les États ou unions politiques telles que l'UE.
Ces négociations et les débats qu'elles font naître posent le problème de la place de l'agriculture dans la mondialisation. Les produits agricoles sont-ils des biens comme les autres ou faut-il considérer une « exception agricole » comme on a pu le faire pour la culture ? Les questions posées touchent à de grands sujets comme la souveraineté alimentaire, la sécurité des aliments, le rôle que l'agriculture joue dans l'économie et la vie et l'organisation des territoires.
Cet article n'a pas l'ambition d'aborder ces questions politiques. Il se contente de proposer des résultats et des analyses pour apprécier l'impact potentiel des décisions envisagées sur l'économie des filières des viandes dans l'UE : concurrence internationale, flux d'échanges, impact sur les prix et les équilibres de marchés…

Matériel et méthodes

Cet article s'appuie sur des travaux conduits récemment par l'IFIP-Institut du Porc, l'Institut de l'Élevage, l'ITAVI, l'Office de l'Élevage. Il examine les conséquences pour la viande porcine d'éventuels accords à l'OMC, en prenant en compte la situation des autres viandes et les analyses les concernant.
Il s'agit donc d'une synthèse de différents travaux qui portent sur :
- Les échanges internationaux des viandes,
- La situation de la production de viande dans l'UE,
- Le développement et la capacité concurrentielle des exportateurs sur le marché mondial,
- Des évaluations de possibilités d'évolution des importations de viande dans l'UE, à partir d'analyses de l'offre. Pour cela des simulations des prix rendus sur le marché de l'UE ont été faites en fonction d'hypothèses basées sur le déroulement des négociations à l'OMC,
- Les risques pour les filières européennes et les possibilités de les limiter.

S'il reste des hypothèses de court terme sur les négociations, les interrogations de fond sur la place de la production européenne des viandes dans le contexte international resteront valables quelle qu'en soit l'issue.

Résultats et discussions

Enjeux et état des négociations

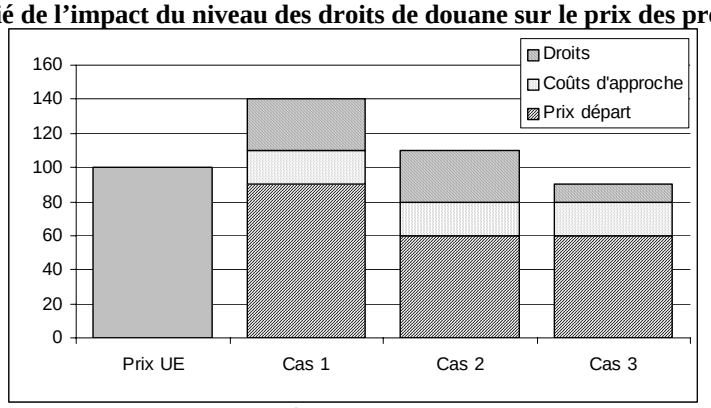
Après avoir eu des ambitions beaucoup plus larges, les dernières phases de la discussion de l'OMC se sont resserrées autour de trois points :
- l'élargissement de l'accès des produits agricoles aux marchés des pays développés,
- la réduction des subventions perturbant les marchés agricoles,
- l'élargissement de l'accès des produits industriels aux marchés des pays émergents.

Dans cette négociation, l'Union européenne soutien des intérêts multiples :
- défendre ses productions agricoles et ses agriculteurs,
- ouvrir des marchés à ses produits industriels.

Mais ses États membres peuvent avoir des intérêts différents et des approches politiques et philosophiques diverses sur un axe qui va d'un certain protectionnisme à une forte dose de libéralisme. Cette diversité peut rendre complexe la lecture des prises de position de ses négociateurs, le Commissaire au Commerce, appuyé par le Commissaire à l'Agriculture.

C'est essentiellement afin de préparer cette négociation, que l'Union européenne a arrêté en 2003 une réforme de sa Politique Agricole Commune (PAC) et l'a mise en œuvre à partir de 2005 ou de 2006 selon les États. Les deux processus sont donc étroitement liés, même si les modalités et leurs effets en sont différents.
La principale mesure de cette réforme, le « découplage » des aides agricoles dans le cadre de la nouvelle PAC, a pour objectif de les rendre totalement compatibles avec les règles de l'OMC (les aides attribuées à une exploitation ne dépendant plus –mais ça n'est qu'en partie vrai- de la nature et du niveau de ses productions, elles n'auraient pas d'effets perturbateurs sur le marché). On a vu les négociateurs de l'UE montrer leur préférence pour la conclusion rapide d'un accord, afin de préserver le bénéfice de cette réforme.
Par ailleurs, le principe d'un démantèlement programmé des aides communautaires aux exportations, les restitutions, a été annoncé, sous réserve que d'autres parties, comme les États-Unis ou le Canada, en fassent autant sur des dispositifs à effets équivalents (aide alimentaire en nature, crédit-export, entreprises d'État à monopole commercial…). Mais le geste pourrait être considéré comme acquis et la réserve oubliée, si la conclusion des négociations devait tarder.
Pour l'agriculture de l'Union européenne, le grand enjeu des prochaines étapes de la négociation (ou éventuellement des modalités de la mise en œuvre de ses conclusions), c'est la brèche qui pourrait s'élargir dans la « préférence communautaire », un des principes fondateurs de la PAC. Si l'accord de Marrakech, concluant le cycle précédent, avait fait un pas dans ce sens en principe, les conditions étaient telles que l'essentiel de la protection avait été maintenu pour le porc.
Les discussions multilatérales pourraient aboutir à une règle commune de réduction des droits de douane appliqués aux produits agricoles, réductions d'autant plus forte selon les produits que les droits sont élevés en proportion de leur valeur. Mais dans les faits, sur ce point, c'est l'UE qui est mise sur la sellette par les États-Unis et par le G-20, groupe de pays émergents emmenés par le Brésil, auxquels se sont joints des pays développés à forte vocation agricole exportatrice (Australie, Nouvelle-Zélande).
Les partenaires de l'UE attendent que celle-ci réduise très sensiblement ses droits de douanes sur les produits agricoles importés. Les propositions de l'UE vont dans ce sens, mais ses partenaires attendent plus. Les propositions sur la table des négociations à la fin de juillet 2006 se traduisaient par des baisses moyennes, tous produits agricoles confondus, allant de 39% (position de l'UE d'octobre 2005, évoluant vers –51% dans une offre des négociateurs de l'UE de juillet 2006) à 70% (proposition des États-Unis), en passant par 54% pour le G20.
Les produits faisant l'objet d'échanges internationaux sont classés selon une nomenclature qui permet de les décrire avec plus ou moins de précision. La nomenclature européenne compte environ 2 200 lignes de produits agricoles. Les droits de douane sont fixés par ligne de produit. Dans les faits, les droits de douane acquittés par les importateurs de produits agricoles s'ajoutent au prix d'achat des marchandises pour constituer le prix réel d'entrée sur le marché de l'Union européenne.
Le schéma suivant illustre, de manière simplifiée, différents cas de figures.

Schéma simplifié de l'impact du niveau des droits de douane sur le prix des produits importés



Source : IFIP

Cas n°1 : le prix du produit importable majoré des coûts d'approche est supérieur au prix européen, ce qui constitue un obstacle aux importations quel que soit le niveau des droits de douane.
Cas n°2 et 3 : le prix aux frontières est inférieur au prix communautaire. Le niveau des droits de douane est déterminant de la compétitivité des produits importés.
Évidemment, la qualité relative des produits, la capacité commerciale des vendeurs, l'intérêt des clients en fonction de ce qu'ils savent des produits sont aussi des éléments déterminants pour l'établissement des relations de commerce.
Outre le régime commun couvert par les droits normaux, des contingents assortis de droits de douane réduits (voire nuls) sont ouverts à tous les membres de l'OMC, suite aux négociations antérieures, ou à certains partenaires, suite à des accords bilatéraux.
Les négociations en cours à l'OMC évoquent la possibilité de classer certaines lignes en « produits sensibles ». Ces produits, considérés comme dotés d'une fragilité pénalisante pour le secteur, pourraient bénéficier d'une réduction moins importante des droits de douane. En compensation, des contingents tarifaires avantageux seraient ouverts à tous les membres de l'OMC. Le nombre et les modalités de gestion de ces produits sensibles sont en débat avec des positions tranchées de chaque partie prenante à la négociation.

Enfin, une clause de sauvegarde spéciale (CSS), déjà prévue par les accords de Marrakech, pourrait être activée en cas de brusque augmentation des volumes importés ou de diminution importante des prix à l'importation.
La négociation est donc complexe dans son déroulement et met en jeu des mécanismes techniques difficiles à interpréter par les non-initiés. Toutefois, les modalités détaillées mises en œuvre sont déterminantes d'évolutions importantes.

Les échanges internationaux de viandes par l'Union européenne

La compétitivité internationale des viandes européennes joue à deux niveaux :
- la capacité à être présentes sur des marchés d'exportation, en concurrence avec la production nationale et les autres exportateurs,
- la capacité à prendre le dessus sur les importations potentielles.
L'évolution des conditions économiques et des règles du commerce influe sur ces deux aspects. Dans le cadre de cette analyse, nous nous intéressons à l'évolution des importations et à l'effet sur elles des règles internationales, dans la mesure où :
-le sort des restitutions de l'UE paraît réglé politiquement,
-l'ouverture aux importations recèle des enjeux beaucoup plus considérable.
Pour l'Union européenne, les échanges internationaux des différentes viandes se traduisent par des situations diverses.

Évolution du bilan des viandes dans l'Union européenne (en milliers de tec)

	Porc		Bovin		Volaille	
	1995	2005	1995	2005	1995	2005
Production	16 116	21 125	8 183	7 819	8 182	10 695
Consommation	15 250	19 602	7 471	8 044	7 536	10 426
Importations	82	33	391	507	223	846
Exportations	914	1 574	1 084	286	911	1 003

Sources : IFIP d'après Office de l'Élevage, Institut de l'Élevage, ITAVI, Eurostat
UE à 15 en 1995, UE à 25 en 2005 (estimations). Importations et exportations avec les pays tiers, hors échanges intra-communautaires.

Le bilan européen de la viande de porc est exportateur, comme celui de la volaille. Par contre, celui de la viande bovine, exportateur net jusqu'en 2002, est devenu importateur depuis 2003.
L'UE est le premier exportateur mondial de viandes porcines. Mais elle n'en importe pratiquement pas en provenance des pays tiers, et encore moins depuis le dernier élargissement de l'UE, puisque la plupart de ses rares fournisseurs font maintenant partie de l'Union à 25. Des courants d'importation de viande bovine conséquents existent depuis des années et avant même la mise en œuvre des derniers accords du GATT. Les importations de volailles se sont réellement développées après ceux-ci, à partir du milieu des années 90 et accélérées à partir du début des années 2000.
L'expérience de ces trois filières européennes vis-à-vis des importations est donc différente. Les accords du GATT de Marrakech n'ont pas eu les mêmes conséquences sur chacun de ces trois secteurs. Quels enseignements peut-on tirer pour la viande de porc de l'évolution des échanges internationaux de l'UE pour la viande bovine et la volaille ?

Le continent américain : un concurrent majeur dans tous les secteurs

Les importations européennes de viande bovine proviennent pour l'essentiel d'Amérique du Sud, d'abord du Brésil (2/3 des importations de viandes réfrigérées ou congelées) et dans une moindre mesure d'Argentine (1/4). Une partie de ces importations se réalise dans le cadre de contingents à tarifs préférentiels. Depuis 2001, se développent des importations de viande réfrigérées et congelées à droits pleins en provenance du Brésil, très limitées auparavant. En 2005, elles représentaient environ la moitié des achats de viandes bovines fraîches et réfrigérées.
Par ailleurs, l'Union européenne importe des préparations de viande bovine pour environ le quart de ses achats. Ces importations sont frappées d'un droit plein relativement limité (16,6% de la valeur).

En volaille, deux pays se partagent la plus grosse partie du marché mondial :
- les États-Unis, dont les exportations se sont stabilisées autour de 2,5 millions de tonnes depuis une dizaine d'années,
- le Brésil dont les ventes ont connu une croissance explosive. Partant de 500 000 tonnes au début des années 90, elles ont dépassé celles de l'Union européenne (1 million de tonnes) en 2001 et celles des États-Unis en 2004 (2,5 millions de tonnes) pour atteindre 3 millions de tonnes en 2005.
Pour l'Union européenne, les importations proviennent essentiellement du Brésil (70% du total en 2005), mais aussi de la Thaïlande (20%). Plus de 90% des importations européennes de volailles sont frappées de droits de douane pleins en 2005.

En viande porcine, les ventes extérieures sur le marché intérieur de l'UE sont très faibles et les contingents négociés à droits réduits ne sont pas remplis. Mais, premier exportateur mondial de porc, l'UE se trouve mise en concurrence sur le marché de ses principaux clients par l'Amérique du Nord et par le Brésil.

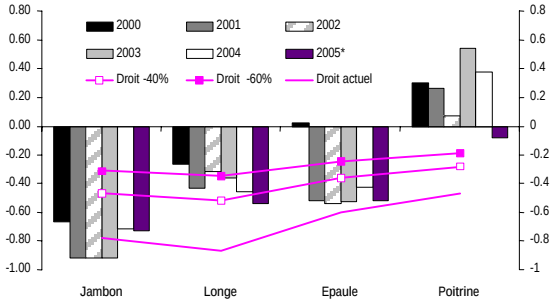
Les exportations de l'ALENA (Accord de Libre Échange Nord Américain), hors échanges internes à la zone, se sont rapprochées de celles de l'UE en 2005. A l'instar de celles de la volaille, les exportations brésiliennes de porc sont en croissance explosive depuis le début des années 2000. L'Amérique du Nord concurrence l'UE en Asie, sur les marchés rémunérateurs du Japon et de la Corée du Sud, le Brésil la dépasse largement en Russie.
Pour la viande de porc, les risques encourus par l'Union européenne, à l'occasion des négociations à l'OMC, prennent de la réalité en raison de l'apparition de ces concurrents dynamiques.
Les trois pays évoqués comme de futurs concurrents potentiels sur le marché du porc européen possèdent des avantages compétitifs en production porcine. On estime que, ces dernières années, l'avantage sur le coût de production du porc par rapport à la France est de 40 à 50% au Brésil, de 15% au Canada, de 10% aux États-Unis.
Le Brésil bénéficie essentiellement du prix bas des matières premières de l'alimentation animale et du travail. Dans le sud du pays qui regroupe 70% de la production, les structures d'élevage sont très éclatées. Par contre, de grands élevages plus performants se développent dans le centre-ouest (État du Mato Grosso, en particulier), nouveau front pionnier de l'agriculture brésilienne. De 1990 à 2003, la production porcine brésilienne a presque triplé pour atteindre 2,9 millions de tonnes, se stabilisant ensuite sous l'effet d'une grave crise.
En Amérique du Nord, l'avantage vient surtout du prix de l'aliment et, dans une moindre mesure qu'au Brésil, du coût de la main d'œuvre. La croissance de la production a été modérée aux États-Unis, ces 10 dernières années (9 millions de tonnes en 2005, +13% par rapport à 1995). Par contre, les structures de production ont été profondément transformées, avec le développement rapide d'une production intégrée en Caroline du Nord (16% du cheptel des États-Unis), l'apparition de nouveaux bassins dans le sud (Oklahoma, Texas, Utah, Colorado, ensemble 8%), tout cela suivi d'une profonde restructuration des élevages dans le Corn Belt, Iowa en tête (27% du cheptel national). L'ensemble de la filière porcine a gagné en compétitivité et en dynamisme.
Le Canada a connu un fort développement de sa production porcine dans de nouveaux territoires, les provinces centrales des Prairies (Manitoba, Saskatchewan et Alberta, 43% du troupeau du pays), à côté des provinces traditionnelles de l'est (Québec et Ontario, 54% du cheptel porcin canadien). En quinze ans, sa production porcine a pratiquement doublé (2,2 millions de tonnes en 2005) et ses exportations (1,2 millions de tonnes, soit près de 60% de la production en 2004) ont presque triplé.
En développant leurs exportations pour différentes viandes et pour différentes destinations, ces pays ont démontré leurs capacités commerciales. Ils possèdent des entreprises industrielles et de négoces efficaces et organisées.
Le premier groupe mondial de production, abattage et transformation de viande de porc, Smithfield s'est développé en Caroline du Nord depuis une quinzaine d'années. Il est aussi actif en bœuf et en dinde. Il possède des élevages ou des usines en France, Pologne, Roumanie, au Brésil, au Royaume-Uni. Le deuxième groupe d'abattage de porcs aux États-Unis, Tyson Foods, occupe le quatrième rang mondial.
Le secteur canadien de la viande porcine est dominé par deux grands groupes (Olymel et Mapple Leaf, chacune un tiers de l'activité, figurant dans les 10 leaders mondiaux), les exportations des autres étant principalement prises en charge par des maisons de Commerce, sociétés de négoce très actives. La force du Canada à l'export bénéficie d'une organisation interprofessionnelle solide et cohérente recevant un plein appui des pouvoirs publics.
Au Brésil, les forces motrices du développement porcin sont de grandes entreprises d'abattage-découpe et de conditionnement des viandes (Sadia, Seara et autre Perdigão), souvent actives en volaille aussi, secteur dans lequel elles ont démontré leurs capacités exportatrices.

Les possibilités d'accès au marché européen

Le marché européen du porc n'a qu'une expérience limitée ou très ancienne des importations venant du dehors de la Communauté, et certainement sans rapport avec ce qui se passerait en cas d'accès des viandes originaires d'Amérique.
L'IFIP a évalué les prix auxquels des pièces de porc en provenance des États-Unis ou du Brésil pourraient être proposées sur le marché français. Faute de disposer de prix d'échanges réalisés dans les mêmes conditions, qui n'existent pas, ces simulations s'appuient sur des prix de gros des viandes dans les pays d'origine. Ils sont majorés des divers coûts d'approche (transport terrestre au départ, fret maritime et coûts afférents). Les analyses ont porté sur différentes années de 2000 à 2005 pour les États-Unis, de 2002 à 2005 pour le Brésil.
L'analyse des écarts entre prix des pièces des États-Unis 'rendu France' et prix français permet les constats suivants
Poitrine : l'écart est toujours positif, ce qui indique un prix américain supérieur. Ce produit, très demandé et bien valorisé sur le marché américain, n'est pas compétitif en Europe. La baisse des droits de douane selon deux hypothèses de –40 et –60% n'y changerait rien.
Jambon : le prix américain « rendu » est inférieur au prix français, l'écart étant parfois supérieur au droit de douane. Actuellement, le jambon pourrait donc être compétitif sur le marché français, certaines années, même en supportant des droits de douane pleins. La baisse des droits de douane le rendrait systématiquement compétitif.
Épaule : l'écart est négatif et un peu inférieur au droit normal. Le marché européen est donc juste protégé. Il ne le serait plus après réduction des droits de 60, voire de 40%.
Longe : l'écart est négatif, traduisant un prix américain « rendu » inférieur, mais plus faiblement que pour le jambon et l'épaule. Une baisse limitée des droits ne suffirait pas à rendre la longe américaine compétitive sur le marché français. Une baisse forte pourrait entrouvrir la porte.
Ces résultats appellent plusieurs constats ou commentaires.

- Un abaissement des droits de douane devrait ouvrir la porte de l'UE aux importations de jambons et d'épaules en provenance des États-Unis.
- Les écarts variés entre différentes pièces sur les marchés français et américains traduisent des valorisations commerciales différentes sur les deux marchés, liées à des états différents de la demande. Ce constat peut être généralisé. Ces différences de demande sont un des moteurs des échanges, les vendeurs cherchant la meilleure valorisation de leurs produits en diversifiant les marchés d'écoulement.
- Les écarts varient dans le temps, selon la conjoncture. Ces écarts conjoncturels peuvent durer plus d'un an (cycles déphasés) ou moins d'un an, pour des raisons saisonnières ou plus aléatoires. Les comportements différents des marchés donnent plus ou moins d'intérêt aux échanges. Des écarts soudains et importants peuvent générer des flux d'échanges inattendus.
- Malgré un certain intérêt, comme en 2001, 2002, 2003 au vu de cette simulation, il n'y pas eu par le passé d'exportations de jambon vers la France ou l'Union européenne. L'écart était peut-être trop limité pour emporter l'intérêt des vendeurs. Mais par le passé, d'autres formes de protection ont joué puisque ça n'est que récemment que quelques abattoirs et salles de découpe américains ont été agréés pour l'exportation vers l'UE.

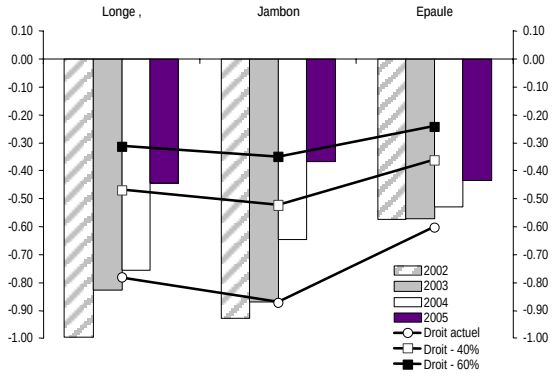
Écart de prix des pièces de porc États-Unis (rendu France) - France, par rapport aux droits de douane (€/kg)



Source : Élaboration IFIP, d'après USDA et SNM

Des calculs identiques ont été faits pour le Brésil. Ils montrent qu'une baisse même moyenne des droits de douane ouvrirait la porte de l'Europe aux pièces brésiliennes, la plupart du temps. Mais les informations sur les prix au départ du Brésil retenues ici (prix sur le marché de gros brésiliens) semblent au-dessus de la valeur des pièces à l'export et minimiser la compétitivité des viandes brésiliennes, même avec les droits actuels. Mais là-aussi les barrières sanitaires jouent à plein, puisqu'il n'existe ni accords sanitaires sur le statut du cheptel entre l'UE et le Brésil, ni agréments d'abattoir brésiliens.

Écart de prix des pièces de porc Brésil (rendu France) - France, par rapport aux droits de douane (€/kg)



Source : Élaboration IFIP, d'après ICEPA/CONAB et SNM

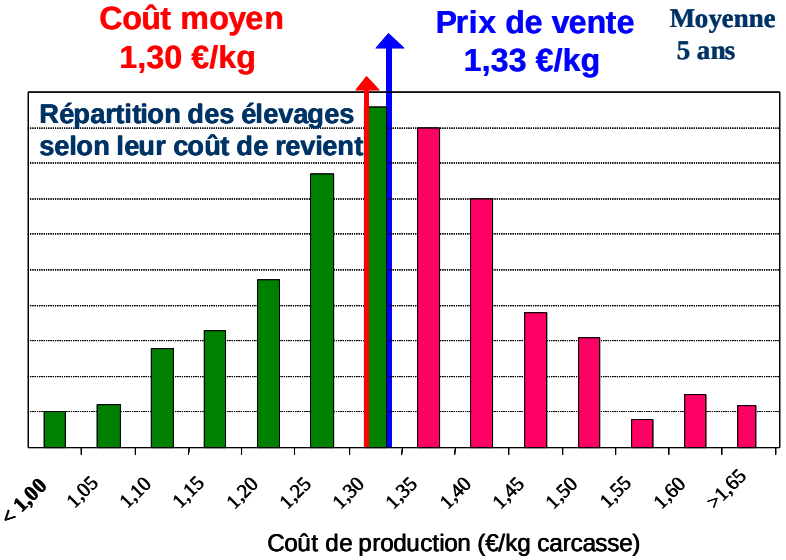
<u>Quelles perspectives pour la viande de porc ?</u>

Un abaissement des protections douanières sur la viande de porc à l'entrée dans l'UE serait de nature à ouvrir la porte à des importations en provenance des États-Unis et du Canada, en raison d'une volonté de développement des exportations de ces pays, d'une bonne compétitivité de leur production porcine, en particulier de certaines pièces, vu les différences de valorisation sur les différents marchés. Le Brésil, de son côté, plus compétitif en terme de coût, serait de plus dans l'obligation d'obtenir des agréments sanitaires portant sur le statut du troupeau et sur l'hygiène de ses abattoirs. Mais cette évolution est tout à fait envisageable au vu de la situation en viande bovine et de volaille. Ainsi, le

Brésil possède de nombreux abattoirs de bovins agréés par l'Union européenne et a engagé la mise en œuvre du système d'identification individuelle des animaux exigé par l'UE (Institut de l'Élevage, 2004).
Dans l'Union européenne, la viande porcine constitue en majorité une matière première pour l'industrie de charcuterie-salaison. Les industriels français (Marouby, 2005) considèrent que la viande importée peut convenir à une grande partie de leurs productions, si elle respecte les règles d'hygiène et si un prix plus avantageux peut compenser d'éventuels défauts de qualité technologique. Les contraintes et exigences sur l'origine géographique de la matière première ne touchent qu'une partie limitée de leur production. C'est encore plus vrai dans d'autres pays de l'UE, compte tenu des pratiques industrielles et des gammes de produits.
Les viandes bovines importées d'Amérique du Sud sont principalement destinées à la restauration collective et à la transformation (Institut de l'Élevage, 2006). Les viandes de volailles importées (Trégaro, 2006) sont pour les 3/4 des produits industriels transformés ou des préparations destinées à une transformation ultérieure. Dans tous les cas, viande bovine ou volaille, les pays d'entrée dans l'UE sont essentiellement autres que la France, en raison de l'état du marché ou des caractéristiques de la demande. De manière analogue, de larges pans du marché communautaire de la viande porcine sont potentiellement intéressés à des achats hors de l'UE.
Les volumes susceptibles d'être importés dépendront donc :
- de l'offre disponible et de l'intérêt du marché européen pour les exportateurs,
- du prix proposé par ces exportateurs,
- du bénéfice attendu de ces importations par les importateurs.
A cet égard, les exemples de la volaille et du bœuf montrent des situations contrastées. Le prix rendu dans l'UE peut s'aligner sur le prix communautaire, procurant éventuellement une marge aux exportateurs et aux négociants importateurs, ou s'établir bien en dessous pour maximiser le volume écoulé.
Les choix commerciaux peuvent varier selon la conjoncture et de l'état respectif des marchés dans les pays exportateurs et dans l'UE : écarts de prix, niveaux relatifs de l'offre t de la demande.

En fonction de ces choix commerciaux et de l'état des marchés, l'impact d'éventuelles importations de viande de porc aura des effets différents. Les importations ne pourront s'établir qu'en prenant la place d'une partie de la production de l'UE, la demande se montrant stagnante depuis plusieurs années. Elles feront pression sur les prix intérieurs, de manière plus ou moins vive selon l'agressivité commerciale des exportateurs. Mais une baisse même minime de la rémunération des producteurs européens est de nature à mettre en danger une bonne partie d'entre eux. Comme l'illustre le graphique suivant, au cours des dernières années, le prix moyen perçu par les producteurs français est à peine supérieur au coût de production moyen. Toute baisse durable des prix affecterait une large part des élevages.

Répartition des élevages de porcs français selon leur coût de revient



Dans le même temps, pour répondre aux attentes des citoyens et des consommateurs, l'Union européenne se dote de règles strictes portant sur les conditions de production et de transformation des viandes (hygiène, traçabilité, environnement, bien-être animal…). Toutes, ces mesures, sans discuter ici leur légitimité, ont un coût. L'Institut de l'Élevage (Guesdon, 2005) et l'IFIP (Gourmelen et al., 2003) ont chiffré l'impact de ces mesures sur les coûts ou manques à gagner pour les filières européennes. Il est de 0,68 euro par kg produit pour le veau, de 0,34 pour le bœuf, de 0,18 pour le porc. Baisse des prix et accroissement des charges (au-delà même des autres écarts de compétitivité dus aux prix des facteurs, comme l'alimentation, le prix des terres, le coût d travail), l'exposition des productions européennes de viande à l'internationalisation du marché constitue un risque pour les exploitations d'élevage.
L'ouverture des frontières comporte aussi un risque d'instabilité accrue des marchés. Outre sa propre variabilité, le marché européen sera exposé à celle des marchés extérieurs. Dans les périodes de cycle haut des prix européens (porc ou viande bovine), la probabilité des importations sera plus forte, si dans le même temps certains marchés extérieurs

sont en surproduction. Des importations à bas prix viendraient alors amputer les hausses de cours nécessaires au rétablissement de la situation des exploitations européennes, usant leur capacité de résistance à long terme.
Enfin, les productions animales se valorisent sur des marchés différenciés. La découpe des carcasses produit des morceaux aux usages divers, plus ou moins bien valorisés sur les différents marchés mondiaux. Ainsi, comme on l'a vu, le jambon de porc est mieux valorisé en Europe qu'en Amérique du Nord. Ce différentiel est de nature à générer des flux continus de jambons et muscles de jambon de l'Amérique du Nord vers l'Europe, pesant sur la valorisation de l'ensemble de la carcasse et donc la rémunération des producteurs.

Conclusion : quelles réponses face aux risques ?

La première réponse, politique, tient à la conduite des négociations internationales. Les conditions générales de l'ouverture de ses marchés par l'UE seront déterminantes. Mais au-delà de cela, les clauses particulières revêtiront une grande importance (produits sensibles, contingents à droits réduits, clause de sauvegarde…). L'exemple de la volaille face aux accords du GATT de 1994 est particulièrement éclairant. Profitant d'une faille dans le système, les importations brésiliennes se sont engouffrées sur le marché européen en développant les ventes de viandes saumurées moins bien protégées que les viandes nature.
La deuxième voie, politique elle-aussi, consiste à faire valoir les exigences de la société européenne sur l'hygiène des produits et les conditions de production. Sur le plan sanitaire, la protection européenne en viande de porc a certainement, ces dernières années, été assurée par l'absence d'agrément des exportateurs. Les règles internationales offrent la possibilité de maintenir ces exigences… à condition, sans doute, d'une ferme volonté politique. Par contre, semble exclu tout frein aux importations pour cause de non-adaptation aux règles européennes de protection des animaux (bien-être) ou de l'environnement.
Une protection de nature commerciale peut-elle se construire en parallèle, avec la promotion auprès des consommateurs de la garantie d'origine Union Européenne ?
La voie suivante est, elle aussi, commerciale. En viande de porc, l'ouverture du marché aux importations, si elle se réalise, modifiera les équilibres de prix entre les pièces. Les entreprises de découpe peuvent-elles trouver des marges de compensation, en vendant mieux les produits les moins fragilisés ou en s'ouvrant des marchés plus rémunérateurs ?
Mais quelles que soient les voies de résistance, en production porcine, l'ouverture des frontières accroîtra une pression concurrentielle déjà forte au sein de l'UE, par la confrontation avec des bassins plus compétitifs au plan des coûts. En production, les avantages américains reposent, à des degrés divers sur le prix des facteurs, alors que leurs performances techniques sont en retrait sur celles de l'UE. La compétitivité européenne ne pourra se renforcer que par la recherche de performances encore meilleures et par la maîtrise des charges. En France, cela suppose une évolution et une adaptation des élevages. Mais tous les maillons de la filière sont concernés par cette course à la compétitivité.

Références bibliographiques

GUESDON, JC, 2005. EU cattle and pig production: the costs of regulatory measures, Rencontres régionales de l'OIV-IMS, Rome 12/14 octobre 2005, http://www.imsmeatconference2005.it/document/pdf/GUESDON_slides.pdf

GOURMELEN C., ILARI E., DAGORN J., DARIDAN D., VAN FERNEIJ J.P., MAROUBY H., RIEU M., TEFFENE O., 2003. Le coût des contraintes réglementaires pour la production porcine française. Etude IFIP (ITP), Paris,

INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2006. OMC et viandes bovine dans l'UE : accès au marché ou marché désaxé ?. Le dossier Économie de l'Élevage, N°358, Paris, 61 pages.

INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2004. Brésil : Le zébu conquérant. Le dossier Économie de l'Élevage, N°336, Paris, 80 pages.

INSTITUT DE L'ELEVAGE, 2004. Argentine : le bœuf revient de loin. Le dossier Économie de l'Élevage, N°335, 57 pages.

MAROUBY H., GOURMELEN C., VAN FERNEIJ J.P., RIEU M., 2005. Abaissement des protections à l'importation par l'OMC : Quels risques pour le marché du porc en France ? Étude IFIP (ITP), Paris, 105 pages.

OFIVAL (Office de l'Élevage), 2003. Les accords du GATT dans le secteur des viandes et des œufs : le bilan de l'Union européenne et notes spécialisées. http://www.ofival.fr/publications/gatt/publi-gatt.htm, Paris, 191 pages

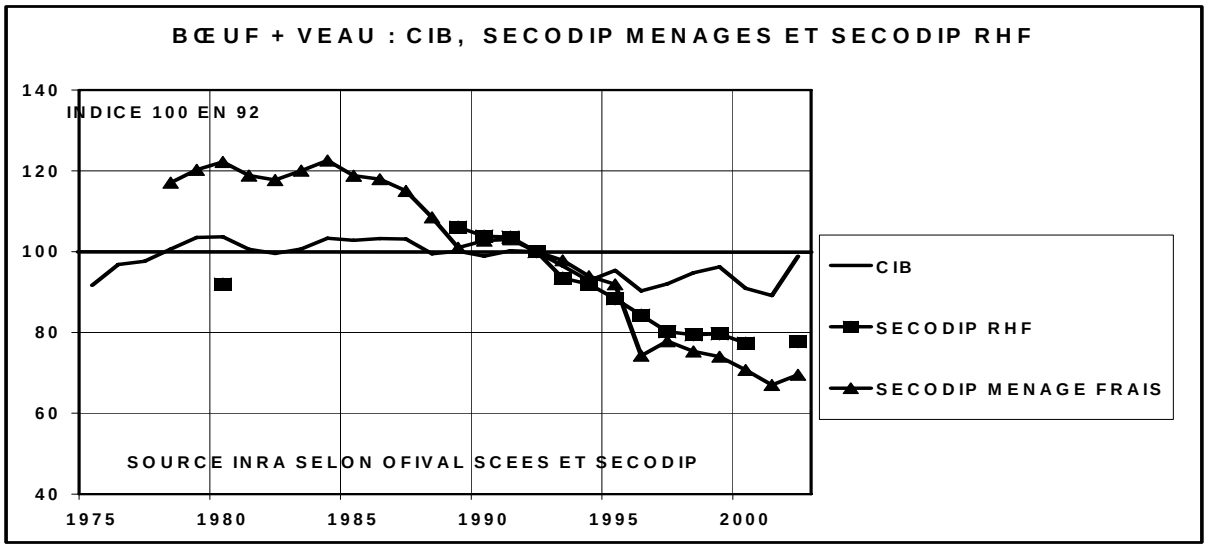
TREGARO Y., 2006. Résultats et conséquences après la 6ème réunion ministérielle de l'OMC à Hong Kong sur la libéralisation des échanges mondiaux pour les secteurs lait et viande, Diaporama, communication personnelle, Office de l'Élevage, Paris

RECHERCHE D'EXPLICATIONS AUX DIVERGENCES D'EVOLUTIONS ENTRE LES 2 APPROCHES DE LA CONSOMMATION DES VIANDES LES APPROCHES PAR BILAN ET LES APPROCHES PAR PANELS

MAINSANT P.
INRA LORIA
IVRY SUR SEINE
11ème JSMTV
4-5 octobre 2006

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, les comparaisons des évolutions de la consommation de viande du panel « Secodip Ménages » avec celles de la consommation calculée par bilan ont produit souvent des contradictions. La principale contradiction repérait une diminution tendancielle de la consommation à domicile qui n'était pas compensée une croissance visible de la RHF (Restauration hors foyer) de SECODIP RESTAURATION, par exemple en viande bovine.



L'accumulation de ces divergences a chroniquement amené certains experts à poser la question de la validité des sources (bilan SCEES, SECODIP MENAGES, SECODIP RHF). Devant ces critiques déjà anciennes, en 2003 l'OFIVAL a chargé l'INRA d'une mission pour analyser et expliquer cette divergence tendancielle entre les sources, et un comité d'expert a participé à l'initialisation de l'opération.

L'objectif général a été de comprendre le pourquoi de la divergence d'évolution entre l'approche consommation apparente par les bilans du SCEES et l'approche par le cumul des 2 enquêtes des 2 sous ensembles de la consommation totale, « Ménages » et RHF. Il est dans la nature de toute enquête de ne pas réussir à pénétrer totalement l'univers qu'elle est censée décrire et l'efficacité d'un panel est mesuré par son TC (taux de couverture = volume observé par le panel / volume total offert). Ce ratio globalise les sous estimations diverses du panel. Dans les cas qui nous concernent, on savait que les TC étaient faibles, et d'une faiblesse difficile à réduire. L'inventaire des sources possibles de divergence ne produit que 3 types d'hypothèses :

- une dégradation du TC (taux de couverture) de l'une ou l'autre enquête,
- une surestimation progressive de la consommation apparente par bilan (CIB),
- une augmentation des pertes entre la sortie abattoir et l'achat final,

L'origine du présent travail est venue du pressentiment de la première hypothèse, la dégradation des TC.

Cette synthèse est basée sur les 4 approches qui ont été réalisées, les sous estimations du panel SECODIP MENAGES, celles des panels SECODIP RHF et GIRA RHF, l'augmentation des pertes en industrie et en distribution, et les surestimations des CIB du SCEES. Elles vont être brièvement résumées pages suivantes. Ensuite nous récapitulerons les examens de cohérence entre les CIB et les enquêtes sur les « utilisations », puis les évolutions de ces cohérences.

1/ Les risques de sous estimation du panel SECODIP MENAGES

Ce panel était constitué jusqu'en 2005 de 5000 ménages qui saisissent leurs achats destinés à la consommation au domicile principal. Cet échantillon se veut proche de la représentativité de la population vivant en France, et ses volumes sont extrapolés à la France métropolitaine. Il existe depuis 1978 et les résultats « viande » ont été achetés depuis sa création par l'OFIVAL. Nous avons procédé à l'inventaire des éléments porteurs de potentialités de sous estimation des volumes et nous en avons retenu 5.
1/ Le morcellement des absences du panéliste, qui a augmenté depuis les années 80,
2/ La dégradation progressive de la sincérité moyenne du panéliste,
3/ La sous représentation des populations « difficiles »,
4/ La pénibilité (pour le panéliste) des saisies des poids variables, surtout depuis 1996 (introduction scannette).
5/ L'influence spécifique du morcellement des absences des ménages sur les achats de viande, produit ultra frais dont les achats sont fréquents, donc pour une part plus grande pendant les petites absences.

Les 3 premiers sont inhérents au panel Ménages et ne sont pas spécifiques des produits carnés. Comme ils s'avéraient croissant depuis une vingtaine d'années, Secodip a mis au point un traitement depuis 1999, appelé « modulation de l'élimination des faibles déclarants » censé les redresser. Les 2 éléments suivants sont inhérents au panel et spécifiques de la viande, et le traitement des faibles déclarants ne peut les redresser.

Trois autres éléments découlent de la définition des résultats de Secodip Ménages achetés par l'OFIVAL,
1/ La non observation par le panel des achats de vacances. Secodip produit les achats d'une population française « vacances comprises », mais sans tenir compte de la spécificité des comportements alimentaires en vacances.
2/ La croissance des achats des touristes étrangers. Ils ne sont pas dans le panel et représentent en 2002 en moyenne 3,75 % de la population permanente. Ils ont augmenté dans le passé et depuis longtemps.
3/ Les produits non suivis par l'Ofival, mais dont Secodip a débuté récemment l'observation. Il s'agit essentiellement des plats cuisinés à base de viande. Le total des non suivis représenterait aujourd'hui de l'ordre de 5 % de la CIB bovin, 3 % de la CIB porc, et 5 % de la CIB volailles. Les 2/3 environ de ces « non suivis » seraient apparus au cours de 25 dernières années.

IMPORTANCE estimée de la viande dans PRODUITS NON SUIVIS (par espèce) dans achats des ménages						
	TPF /espèce estimé	plats cuisinés en % espèce	% de Couverture estimé	TPF/TEC estimé	TEC MENAGES estimé	% de CIB
bœuf + veau	42 000	30%	75%	66%	84 848	5,1%
agneau	7 000	5%	75%	76%	12 281	4,5%
porc	49 000	35%	75%	90%	72 593	3,3%
volailles	42 000	30%	75%	75%	74 667	4,9%
ss total	**140 000**	100%			**244 388**	

source INRA estimations d'après SECODIP MENAGES

Tous ces éléments n'étaient pas stables et se sont amplifiés depuis 20 ans. La technique de redressement global par la modulation des faibles déclarants, introduite en 1999, a donc été opportune. Elle est censée corriger la perte d'information par les petites absences, la perte de sincérité et la croissance des populations difficiles. Mais elle a l'inconvénient d'être uniforme, alors que tous les produits ne méritent pas le même redressement, notamment les produits pénibles à saisir, dont la viande fait partie, surtout depuis 1996.

De ces 8 éléments porteurs de potentialités de sous estimation, le plus important est constitué clairement par « les produits non suivis ». Le second est la fragilité spécifique des « poids variables ». Pour les panélistes, la saisie des poids variables est plus pénible que le scannage des poids fixes, et ils maltraiteraient cette partie « poids variables ». Or la viande de boucherie et les volailles sont pour l'essentiel vendus en poids variable.

Grâce à la mise à disposition par Secodip des TC « Consoscan/IRI », on a pu se faire une idée de l'ordre de grandeur des TC de Secodip ménages en viande : Les UVCI (gencodées à poids fixe) auraient des TC entre 75 et 80 %, et les « poids variables », l'essentiel du volume, auraient des TC entre 60 et 70 %. Donc l'essentiel de la viande de boucherie aurait un TC entre 60 et 70 %.

CONSOCSCAN 2, à partir de 2005, constituera un progrès pour certaines fragilités grâce à l'agrandissement de la population du panel (7500 au lieu de 5000) et grâce à de nouvelles possibilités de saisie d'informations avec les Pamls. Concernant les produits carnés, on peut espérer qu'une partie des problèmes repérés devrait profiter de ces nouveautés.

2/ Restauration hors foyer : une estimation nouvelle et plus volumineuse d'un univers RHF « théorique »

Nous disposions de 2 sources sur la RHF, celle de Secodip qui produisait des résultats « viande » depuis plus de 20 ans, et celle de GIRA FS qui a produit des résultats viande pour la première fois en 2003. La comparaison des résultats de

Secodip 2002 et GIRA 2003 s'est avérée inexploitable du fait des différences d'univers RHF. Nous avons donc procédé à une nouvelle estimation de l'univers, en partant de l'hypothèse d'une médiocre pénétration de cet univers par les 2 sources. Le tableau suivant se veut l'estimateur, en effectif de restaurants et de repas, d'un univers RHF « théorique », celui qui était concerné par l'enquête « RHF produits carnés » de GIRA réalisée sur 2003. Le principe de cet estimateur a été de fusionner les panels SECODIP et GIRA, en retenant à propos de chaque sous secteur la source la plus volumineuse en nombre de repas. Le résultat est exploratoire.

ELABORATION D'UN UNIVERS RHF "THEORIQUE" SYNTHETISANT SECODIP ET GIRA						
	GIRA FS 2003		SECODIP 2002		SYNTHESE	
	Nb de restaurants	Nb de repas (millions)	Nb de restaurants	Nb de repas (millions)	Nb de restaurants	Nb de repas (millions)
RHF TOTAL	207 295	5 569	180 925	4 679	**269 336**	**6 788**
RHF COLLECTIVE	54 465	2 977	64 687	3 180	**78 557**	**3 661**
dt TRAVAIL	13 030	531	16 150	950	**16 150**	**950**
dt SCOLAIRE	19 320	1 109	40 292	1 374	**40 292**	**1 374**
dt HOPITAUX + RETRAITES	15 000	1 117	8 245	856	**15 000**	**1 117**
dt CAPTIF	985	112			**985**	**112**
dt LOISIRS SOCIAUX	6 130	107			**6 130**	**107**
RHF COMMERCIALE	152 830	2 592	116 238	1 499	**190 779**	**3 127**
dt Commerciale Tradi. + café + hotel + autres	92 850	1 272	114 866	1 281	**130 447**	**1 784**
dt Restaurants Self Service	1020	195	1 372	218	**1 372**	**218**
dt Restauration Rapide	58 960	1 125			**58 960**	**1 125**

source MAINSANT selon GIRA et SECODIP

Le volume total de cet univers « théorique » est nettement plus élevé que celui de GIRA 2003. 270 000 restaurants contre 210 000 à GIRA (soit + 28 %) et 6,8 milliards de repas contre 5,55 milliards à GIRA, (soit + 22 %). Cet inventaire ne couvre pas l'ensemble de l'univers des repas RHF, et il convient de lui ajouter des compléments, la restauration de transport, de concession, des traiteurs, et 2 autres secteurs marginaux, les communautés religieuses et les artisans traiteurs et salon de thé. Au total, ces 5 compléments approcheraient 290 millions de repas. L'univers total et théorique serait donc de l'ordre de 7, 1 milliards de repas pour l'année 2003.
Au regard de ce nouvel estimateur de l'univers RHF théorique, nous avons estimé les taux de pénétration (ou TP) des 2 enquêtes « RHF produits carnés » disponibles. Secodip RHF observerait seulement 66 % de cet univers « théorique » des repas RHF et GIRA FS 78 %.

ENQUETES "RHF VIANDE" et UNIVERS RHF THEORIQUE				
	GIRA RHF 2003 "viande"	SECODIP RHF 2002 "viande"	UNIVERS FUSIONNE SECODIP GIRA	UNIVERS RHF THEORIQUE
NB de REPAS en millions	**5 569**	**4 679**	**6788**	**7 100**
% de PENETRATION de L'UNIVERS RHF	**78%**	**66%**		**100%**

source MAINSANT INRA

Le Taux de Déclaration (ou TD) représente la part des volumes enquêtés dans les volumes de produits carnés réellement traités par les univers enquêtés. Il estime la sous estimation inévitable de ce type d'enquête. Elles procèdent de deux manières, l'enquête des sociétés de restauration d'une part, et l'enquête par échantillons des autogérés et indépendants d'autre part, avec des échantillons nombreux, une cinquantaine, très divers, et qui sont inévitablement sous déclarants. Nous avons estimé le TD de Secodip RHF en faisant une hypothèse pour chacune des 2 populations enquêtées. La moyenne pondérée du TD de Secodip RHF est ressortie à 81 %. En conclusion sur la RHF, on a retenu que les 2 sources pénètrent mal l'univers, et que les volumes de produits carnés sont peu signifiants, tant pour Secodip que pour GIRA.

Au regard de ce nouvel estimateur de l'univers RHF théorique (7,1 milliards de repas RHF), la part de repas RHF dans l'univers global des repas de midi et du soir serait de l'ordre de 18 % en 2003 (univers théorique : 55 millions de personnes de plus de 5 ans, 365 jours/an, 2 repas / jour, soit environ 40,1 milliards de repas par an).

3/ Les pertes de matières le long de la filière.

Il s'agit des déchets en industrie et en distribution d'une part, et des invendus en distribution d'autre part. Les déchets de découpe de gros et de détail sont pris en compte dans le coefficient TPF/TEC. On a fait l'hypothèse de leur stabilité

dans le passé, excepté en poulet et pintade. En effet, d'une part l'évolution de l'offre de détail contient moins d'os en moyenne, donc elle secrète plus de déchets en découpe, d'autre part la remontée de la découpe de détail vers le niveau industrie favorise une gestion optimisée des déchets par l'industrie, avec une ré-utilisation de certains déchets. Quant aux pertes par invendus au détail, la rumeur professionnelle était nette sur leur augmentation. Une enquête par sondage (non représentative) nous a fourni une photographie sur 2004 des pertes en GMS aux rayons boucherie et volailles.

% PERTES PAR ESPECE (après réintégration des UVCI par espèce)

en % de valeur	BŒUF	VEAU	AGNEAU	PORC	RAYON BOUCHERIE	RAYON VOLAILLES
% CA ESPECE	*44,6*	*10,5*	*14,8*	*26,1*	*100,0*	
HYPER	5,2	3,6	3,9	3,4	4,0	3,5
SUPER	6,9	4,6	6,2	3,6	5,3	4
GMS	**7,1**	**5,1**	**6,0**	**4,5**	**5,8**	**3,8**

source INRA selon enquête expert, en % de la valeur

En fin de DLC (date limite de consommation), les relèves des J-1 et J-2 en GMS auraient pris des proportions étonnamment élevées : 5,8 % au rayon boucherie (dont 7 % en bœuf, 5 % en veau, 6 % en agneau, 4,5 % en porc frais) et 3,8 % au rayon volailles. Les crises alimentaires, telle la vache folle, en seraient la cause majeure.

4/ Les CIB et les surestimations. La CIB de chaque espèce a été analysée, éventuellement corrigée par nos soins et définie hors autoconsommation. Ces statistiques sont issues principalement des abattages (ou des mises en place en volailles) corrigés des imports exports. Nous avons identifié quelques fragilités ici ou là, avec de légères surestimations. Les correctifs de ces fragilités sont toujours inférieurs à 2 %. Autrement dit, les CIB sont robustes, relativement aux enquêtes Secodip ménages (TC de 65 % environ) et RHF (55 % environ).

COHERENCE entre la CIB et le CUMUL des UTILISATIONS redressées

	BOVIN	OVIN	PORC FRAIS	VOLAILLES	TOTAL VIANDE
CIB corrigée - CUMUL des UTILISATIONS (TEC)	**4 629**	**2 163**	**189**	**2 737**	**9 718**
en % de la CIB	**0,3%**	**0,8%**	**0,0%**	**0,2%**	

source MAINSANT INRA selon modélisation sur Secodip

Méthodologie de la recherche des causes de la divergence entre les CIB et les « utilisations »

1er phase : Confronter la CIB au cumul des enquêtes sur les « utilisations ». Nous avons réalisé un examen de cohérence par espèce à partir de simulations chiffrées sur 2002 et 2003. Pour chaque espèce, on confronte la CIB du SCEES, qui est un disponible « sortie abattoir », avec le cumul des 3 enquêtes sur les 3 « utilisations » du disponible, les achats des ménages (Secodip), les achats de la RHF (Secodip), et les pertes entre l'abattage et la vente au détail. La confrontation utilise les TC estimés de chaque enquête. Chaque analyse espèce va nécessiter une dizaine d'hypothèses, qui sont soit communes à toutes les espèces, ex le TC moyen du panel ménages, soit spécifiques de l'espèce, ex le coefficient technique TPF/TEC. Ces hypothèses ne sont pas des valeurs établies, elles sont soit issues d'enquêtes, soit issues d'avis d'expert. Chaque tableau espèce a fait l'objet d'une recherche de cohérence, basée sur la vraisemblance à dire d'expert, en retenant certains niveaux de TC.

2ème phase : Identifier l'évolution des TC globaux sur une longue période du passé. La période des données disponibles est 1979-2003, soit presque 25 ans. Il s'agit de décrire les évolutions des enquêtes de chacune des 3 utilisations, notamment celles de leurs TC. Il n'a pas été possible de calculer le TC global d'une quelconque date du passé, 1979 ou de 1990. On dispose des estimations de TC récentes, et on a étudié les tendances de ces TC dans le passé.

1ère PARTIE : Construire un tableau de cohérence entre la CIB et les 3 « utilisations ».

Pour chaque espèce, le cumul des 3 utilisations (ménages, pertes et RHF), redressées de leurs TC respectifs pressentis a été confronté à la CIB, de telle sorte que la cohérence soit obtenue avec certaines valeurs des TC. Un coefficient TPF/TEC a été retenu pour chaque espèce par avis d'expert, (66 % en bovin, 75 % en agneau, 86 % en porc frais et 75 % en volailles).

Les produits suivis par le panel SECODIP MENAGES ont été redressés à partir d'un TC de base choisi entre 60 et 70 %, estimé par nos soins à 63 %, puis fixés lors de la confrontation par des tests par tâtonnement à proximité de cette valeur

Les pertes et le vol dans la distribution aux ménages ne sont pas présents dans les saisies du panel. Sont inclus dans les pertes les « invendus » retirés de la vente par le vendeur pour cause de fin de DLC. Une enquête par sondage nous a fournie quelques ratios de pertes par espèces sur 2004, au rayon boucherie et volailles de GMS. Concernant les pertes en boucherie traditionnelles, en surgelés et en plats cuisinés, nous avons retenus la valeur de 2 % par avis d'expert. Concernant le vol en GMS, nous avons retenu 1 %.

L'OFIVAL achetait à Secodip une liste positive de rubriques, qui correspondait autrefois à l'essentiel des produits carnés. On a identifié une liste des produits non suivis pour l'OFIVAL, constituée des plats cuisinés très divers et contenant de la viande, et Secodip nous a fourni une estimation de leurs volumes récents. Nous avons estimé leurs volumes de viande par espèce à partir d'une enquête par sondage en GMS. L'estimation de la viande dans les produits non suivis a été redressée d'un TC de 75 %, celui de produits gencodés à poids fixe.

Comme à propos des ménages, le TC de l'enquête RHF viande, peut se décomposer en 2 éléments : le taux de pénétration (ou TP) du panel dans l'univers des repas RHF, et le taux de déclaration (ou TD) des produits enquêtés, relativement aux achats totaux. Grâce à l'évaluation de l'univers RHF « théorique », nous avons estimé les TP des enquêtes RHF disponibles : Secodip RHF observait seulement 66 % de l'univers RHF « théorique » et GIRA FS 78 %. N'ayant pas de données sur le TD des enquêtes RHF, nous avons estimé le TD de Secodip RHF à 81 %. Les résultats de Secodip RHF ont été redressés selon les TP et TD estimés et testés.

CONCLUSION sur cette exploration de la cohérence. D'un coté, la CIB s'est avérée une estimation robuste, car nos examens n'ont jamais dégagé plus de 2 % de correction. De l'autre, le cumul « utilisation » est le résultat de redressements dont les coefficients seraient entre 30 et 40 %. Le degré d'imprécision de « utilisation » est donc sans commune mesure avec celui de la CIB. Dans ces conditions, l'intérêt de la confrontation par espèce n'est plus que de préciser les valeurs estimées de ces coefficients de redressement, notamment ceux des TC des panels Ménages et RHF. Pour chaque espèce, en les faisant varier afin d'aboutir à la cohérence avec la CIB, nous avons pu produire des estimations de TC par espèce un peu plus précises.

Nous constatons d'abord la faiblesse des TC de ces 2 panels pour la période récente (2002-2003), 60 à 64 % selon les espèces en MENAGES, et 53 % en moyenne toutes espèces en RHF. Ces valeurs restent des ordres de grandeur pour chaque panel. Elles situent la part observée par les 2 panels SECODIP dans leurs univers respectifs. Les intervalles de confiance de ces valeurs seraient de +/- 2 points.

	TC	TP	TD
SECODIP 2002	**TAUX DE COUVERTURE GLOBAL**	**TAUX DE PENETRATION**	**TAUX DE DECLARATION (1)**
MENAGES	**60 à 64 %**	**93%**	**60 à 64 %**
RHF	**53%**	**66%**	**81%**

source MAINSANT INRA

note 1 : ou sous déclaration

Ces valeurs nous suggèrent que le panel SECODIP Ménages pénètrerait 93 % de l'univers des repas à domicile, enregistrerait selon les espèces 64 à 69 % des volumes d'achats des 93 % observés, et couvrirait donc 60 à 64 % de l'univers de la distribution de détail. De même le panel SECODIP RHF pénètrerait 66 % des repas RHF, enregistrerait 81 % des volumes d'achats de la RHF observée, et couvrirait 53 % environ de l'univers des achats de la RHF. Le TC global du cumul des 2 panels, en tenant compte du poids de chaque sous ensemble, serait de l'ordre de 60 %. L'exercice visait essentiellement à relativiser les enquêtes dans leurs univers. On mesure que les volumes observés par les panels sont assez loin des univers concernés. Certes leurs évolutions sont fragilisées, mais cela ne signifie pas que ces enquêtes ne présentent pas d'autres intérêts qui suffisent toujours à les justifier.

Globalement, on a pu situer les parts des 4 sous ensembles suivants de l'utilisation totale :

IMPORTANCE ESTIMEE des SOUS ENSEMBLES de l'UTILISATION du disponible						
		BŒUF+ VEAU	AGNEAU	PORC FRAIS	VOLAILLES	ENSEMBLE
en TEC	produits SUIVIS (Frais + Surgelé)	1 047 427	148 404	502 748	944 739	2 643 317
	produits NON SUIVIS	38 480	20 886	27 685	105 820	192 871
	TOTAL PERTES et vol	64 496	9 324	25 142	42 766	141 728
	ss total MENAGES avec pertes et vol	*1 150 403*	*178 614*	*555 575*	*1 093 325*	*2 977 916*
	RHF	**454 599**	**75 970**	**130 747**	**364 935**	**1 026 251**
	TOTAL UTILISE	**1 605 002**	**254 584**	**686 321**	**1 458 260**	**4 004 167**
en % du CUMUL UTILISE	SUIVIS (Frais + Surgelé)	65,3%	58,3%	73,3%	64,8%	**66,0%**
	NON SUIVIS	**2,4%**	**8,2%**	**4,0%**	**7,3%**	**4,8%**
	TOTAL PERTES et vol	**4,0%**	**3,7%**	**3,7%**	**2,9%**	**3,5%**
	ss total MENAGES avec pertes et vol	***71,7%***	***70,2%***	***80,9%***	***75,0%***	***74,4%***
	RHF	**28,3%**	**29,8%**	**19,1%**	**25,0%**	**25,6%**
	TOTAL UTILISE	**100,0%**	**100,0%**	**100,0%**	**100,0%**	**100,0%**

source MAINSANT INRA

Les produits non suivis seraient donc un phénomène important, 7 % du marché des ménages, de même que les pertes en distribution, 4,5 % de l'univers des ménages. En ce qui concerne cet ensemble « pertes et vol » en distribution, 4,5 % de l'univers « ménages », le cumul au niveau national de toutes ces pertes atteindrait le chiffre étonnant de 140 000 TEC (hors charcuterie). Or il s'agit surtout de la relève en GMS à J-1 et J-2., cette énorme perte vient-elle de l'excès de principe de précaution qui a envahi notre société ?

	BOVIN	**OVIN**	**PORC FRAIS**	**VOLAILLES**	**TOTAL VIANDE**
NON SUIVIS (en % de l'univers MENAGES)	**7,2%**	**7,0%**	**6,8%**	**6,9%**	**7,0%**
PERTES (en % de l'univers MENAGES)	**5,0%**	**4,8%**	**4,6%**	**4,0%**	**4,5%**
PERTES + NON SUIVIS (en % univers MENAGES)	12,2%	11,7%	11,4%	10,9%	11,6%
PERTES + NON SUIVIS en % ventes de produits suivis	**19,3%**	**19,0%**	**15,9%**	**16,4%**	**17,6%**

source MAINSANT INRA

2ème PARTIE : Les évolutions qui ont fait diverger les panels de la CIB depuis 25 ans.

Au départ de l'opération, la première hypothèse était la dégradation des TC des panels. L'exploration a révélé que 2 autres phénomènes, qui ne relèvent pas des TC, sont à considérer, tout d'abord les volumes de produits non suivis par le panel ménages, ensuite les déchets et pertes le long de la filière. Ces 2 phénomènes ont augmenté dans le passé, ensemble ils représentent actuellement 12 % du volume du panel ménage acheté par l'OFIVAL. Il ne fait pas de doute que ces 2 facteurs ont contribué à la divergence précitée. Ni l'un ni l'autre n'étaient susceptibles d'être observé par les panels.

2.1. L'influence des produits non suivis « frais + surgelé » sur la « divergence ». Les plats élaborés contenant de la viande comprennent 3 sous ensembles, les appertisés, les surgelés et les frais, dont les sous vide. Les « appertisés » existent depuis longtemps, et leurs achats par les ménages sont restés quasi stables depuis 1980. Par contre, les frais et les surgelés ne pesaient presque rien vers 1980 dans les achats des ménages, et ils s'y seraient installés en 25 ans. On a estimé qu'aujourd'hui, les 2/3 de la viande contenue dans le « non suivi » toutes espèces est sous la forme « frais + surgelé ».

	BOVIN	**OVIN**	**PORC FRAIS**	**VOLAILLES**
NON SUIVIS total en % de CIB	5,2%	4,8%	5,5%	5,2%
NON SUIVIS FRAIS + SURGELE en % de CIB	**3,4%**	**3,2%**	**3,6%**	**3,4%**

2.2. Les pertes et vol dans la distribution. Concernant les déchets des espèces de boucherie, le total des déchets de la découpe de gros et de détail serait resté stable en longue période du passé. Le mouvement de cannibalisation de la découpe de détail par la découpe de gros devrait produire un total de déchet presque stable. Concernant les déchets des volailles, la production de déchets augmente avec la croissance de la découpe, donc surtout en poulet et pintade. En dinde et en canard, elle est stable.

Concernant les pertes en distribution, la rumeur professionnelle a fait état depuis longtemps d'une croissance des « relèves » en GMS, c'est à dire des produits qui s'approchent de la fin de leur date limite de consommation et qui se

terminent à la poubelle. Dans le rayon boucherie en GMS, nous avons observé sur 2004 un % de pertes élevé, de l'ordre de 6 % du CA en 2004 (dont 7% en bœuf), contre à 2-3 % en 1995 et 1 à 2 % vers 1985. L'augmentation de la perte au rayon boucherie serait donc de l'ordre de 4,5 pts de CA sur 20 ans, dont + 3,5 points de CA de 1995 à 2005 (impact vache folle). Dans le rayon volailles en GMS, le taux moyen de pertes serait entre 3,5 et 4 %, et il aurait augmenté de 2 points en 20 ans.

En résumé, ces pertes en GMS auraient modérément augmenté de 1985 à 1995, et plus violemment depuis 1996. Le principe de précaution se serait traduit concrètement par ces augmentations de pertes. Compte tenu de la part des GMS dans l'offre aux ménages, on évalue que du point de vue des pertes en distribution, 2 points de CIB ont disparu au rayon boucherie entre 1985 et 2002, et 1 point au rayon volailles

2.3. La croissance des phénomènes de sous estimation liés au panel SECODIP Ménages.

Concernant les sous estimations croissantes inhérentes au fonctionnement du panel, nous avions retenu 6 éléments, mais nous sommes incapables de les quantifier ici. Rappel :

1/ L'influence du morcellement croissant des absences du panéliste,
2/ La dégradation progressive de la sincérité moyenne du panéliste,
3/ La sous représentation des populations « difficiles », croissantes et inévitablement sous déclarantes.
4/ L'influence spécifique de la pénibilité des saisies des poids variables, depuis la scannette de 1996.
5/ La non observation par le panel des achats de vacances.
6/ La croissance des achats des touristes étrangers.

Au final, 2 éléments semblent plus lourds d'enjeux de « TC viande », le morcellement des absences et la fragilité spécifique des « poids variables »

2.4. La croissance des phénomènes de sous estimation liés au panel SECODIP RHF.

La pénétration de l'univers des repas RHF par le panel Secodip RHF a été estimée en 2003 à 66 % des repas de l'univers RHF « théorique ». Etant donné cette faiblesse, GIRA avait été retenu pour 2003, mais l'univers de GIRA s'est avéré lui aussi largement sous estimant (78 %).

A partir des analyses de cohérence espèce par espèce, on a estimé la part de marché de la RHF pour chacune d'elles, proche de 30 % de la CIB en bovin et ovin, proche de 25 % en volailles, et proche de 20 % en porc frais. Ces données suggèrent que les avis d'expert de la littérature professionnelle sous estimaient nettement la part de la RHF dans la consommation de viande, environ de 5 point de part de marché, du fait de la sous estimation liée au nombre de repas.

SECODIP RHF	BOVIN	OVIN	PORC FRAIS	VOLAILLES	TOTAL VIANDE
TAUX DE COUVERTURE GLOBAL ESTIME	53%	53%	53%	53%	53%
% RHF ESTIME (en % de CIB)	**27,9%**	**30,1%**	**19,0%**	**25,3%**	**25,6%**

source MAINSANT INRA selon modélisation de Secodip

Nous n'avons pas trouvé d'indices concrets d'une croissance de la sous estimation en RHF, mais celle ci est probable à cause de l'information générale sur la croissance de la déstructuration des repas RHF que représente la restauration rapide dans ses multiples formes à côté des fast food de chaîne, et que même une société comme GIRA a du mal à cerner.

Conclusion sur les 25 dernières années. On a repéré 4 facteurs de croissance de la divergence en question, les plats cuisinés non suivis frais et surgelés, les pertes en GMS, les sous estimations de Secodip Ménages et les sous estimations de Secodip RHF. Les 2 premiers ont pu être assez bien quantifiés, les 2 autres non.

Dans les produits non suivis, les plats cuisinés frais et surgelés (hors appertisés) se sont installés dans les habitudes d'achats. Le raisonnement serait de considérer que leur volume était nul en 1980 et qu'il a atteint aujourd'hui de l'ordre de 3,5 % de la CIB bovine et ovine, 2 % de la CIB porc et 3,5 % de la CIT volailles. Ce sont ces chiffres qui estiment la part de la « divergence » sur 25 ans qui est due aux plats cuisinés achetés par les ménages.

Les pertes en GMS ont augmenté suite aux crises de la vache folle. Elles se serait traduites concrètement par des augmentations des relèves à J-1 et J-2, que le panel ménage ne peut avoir observé par définition. Compte tenu de la part des GMS dans l'offre aux ménages, on évaluerait que 2 points de CIB ont disparu au rayon boucherie entre 1985 et 2002, et 1 point de CIT au rayon volailles

En cumulant ces 2 facteurs quantifiables de la divergence, non suivis et pertes, on aurait identifié environ 5 % de la CIB (minimum 4,4 et maximum 5,6 %) qui par définition ne pouvaient pas être suivis par les enquêtes achetées auprès de Secodip.

Les sous estimations du panel SECODIP MENAGES se sont aggravées, mais aucun des éléments analysés n'a pu donner lieu à des estimations chiffrées. Toutefois, nous avons acquis la conviction que le travail de Secodip Ménages est une lutte incessante contre la dégradation du TC, et que le TC s'est dégradé spécifiquement pour les produits carnés. Certes Secodip lutte contre des difficultés de recrutement dans certains sous ensembles de populations dites « difficiles » et contre la dégradation de la déclaration du panéliste moyen, et l'existence de cette lutte prouve l'existence du problème. Mais la viande, produit à poids variable pour l'essentiel, garde sa difficulté spécifique, malgré les redressements astucieux. Nous avons retenu surtout 2 éléments, le morcellement des absences des ménages de leur domicile, et la fragilité spécifique des « poids variables ».

Les sous estimation des achats RHF par les 2 panels RHF disponibles n'avaient jamais été évaluées à propos des viandes. On les a estimées très fortes et croissantes pour SECODIP RHF. Reste GIRA RHF qui vraisemblablement sous estime aussi son univers. Les échantillons enquêtés par Secodip étaient sans doute bien enquêtés, mais une partie importante et croissante de l'univers RHF manquait, la restauration rapide, et on a établi que certains sous secteurs apparaissaient sous évalués (surtout santé). Désormais on évalue que le TC de SECODIP RHF n'était que de l'ordre de 53 % en 2002 (en % de l'univers théorique), ce qui suggère un intérêt plus faible que prévu pour ces données.

A cause de la fragilité de SECODIP RHF, GIRA FS RHF avait été retenu par l'Ofival pour 2003. Mais on a pu conclure aussi que l'univers de GIRA RHF est encore largement sous estimant de l'univers RHF total (TP= 78 % des repas de l'univers «théorique »).

Il n'a pas été possible d'évaluer ici dans quelle mesure la croissance de la sous estimation de l'univers RHF a contribué à la divergence, mais nous sommes convaincus qu'elle y a contribué. On a surtout découvert qu'il n'était pas raisonnable de vouloir agréger les 2 panels Secodip, Ménages et RHF, étant donné ce faible TC de SECODIP RHF.

CONCLUSION GENERALE.

En résumé des démarches exploratoires à la recherche du degré de cohérence entre les CIB et les « utilisations », nous retiendrons essentiellement 2 éléments :

1/ Les produits non suivis par le panel Ménages et les pertes en distribution aux ménages ont pu être estimés en début et fin de la période des 25 dernières années. Ils ont nettement augmenté et ont expliqué une part importante de la divergence entre l'évolution de l'offre « CIB » et celle du cumul des utilisations « Ménages + RHF » tels qu'ils étaient fournis. Le cumul de ces 2 phénomènes fait que près de 5 % de la CIB actuelle se seraient évaporés des données « utilisations » en 25 ans.

en % de la CIB	BOVIN	OVIN	PORC FRAIS	VOLAILLES
NON SUIVIS FRAIS + SURGELE en 2003	**3,4%**	**3,2%**	**3,6%**	**3,4%**
AUGMENTATION des PERTES en 25 ANS	**2%**	**2%**	**2%**	**1%**
DIVERGENCE par NON SUIVI et PERTES sur 25 ans	**5,4%**	**5,2%**	**5,6%**	**4,4%**

source MAINSANT INRA selon modélisation sur Secodip

2/ les Taux de Couverture des panels sur les 2 types d'« utilisations » étaient très faibles, un peu plus de 60 % pour Secodip Ménages, un peu plus de 50 % pour Secodip RHF et un peu plus de 60 % pour GIRA RHF. Autrement dit, entre un tiers et la moitié des « utilisations » n'étaient pas mesurés par les panels disponibles. Il s'agit d'une fragilité importante, aussi bien sur les estimations de volume que d'évolution en annuel et en longue période. Seules les évolutions de court terme, les périodiques, échapperaient largement à cette fragilité.

		TC	TP	TD
		TAUX DE COUVERTURE GLOBAL	TAUX DE PENETRATION	TAUX DE DECLARATION (1)
SECODIP 2002	**MENAGES**	**60 à 64%**	**93%**	**(64 à 69 %)**
	RHF	**53%**	**66%**	**(+/- 81 %)**
GIRA FS RHF 2003	**RHF**	**63%**	**78%**	**(+/- 81 %)**

source MAINSANT INRA

note 1 : ou sous déclaration

Par contre, concernant l'évolution de ces 3 TC sur les 25 dernières années, l'amplitude de leur dégradation n'a pas pu être quantifiée dans le cadre de cette exploration. Mais cette dégradation nous apparaît malheureusement très probable pour les panels Ménages et RHF de Secodip, malgré les efforts de Secodip pour les améliorer.

Concernant la consommation des viande, devrait-on préserver les enquêtes par panel ?

Les produits non suivis dans les achats des ménages ont augmenté depuis 25 ans. Il s'agit des plats cuisinés, donc d'une tendance profonde de notre société appelée à se développer. L'Office de l'Elevage a débuté l'achat des plats cuisinés à SECODIP MENAGES. Les pertes en GMS auraient augmenté, surtout depuis une dizaine d'années à cause de la crise de la vache folle. Mais les panels n'étaient pas susceptibles de le découvrir.

Certes les TC du panel SECODIP MENAGES ont été confirmés actuellement à un niveau très faible, entre 60 et 64 % de l'univers ménages, et cette faiblesse s'est à notre avis aggravée avec l'introduction de la scannette en 1996. Les données annuelles sont à utiliser avec prudence. Mais les évolutions périodiques de SECODIP MENAGES restent de première importance, car elles sont quasi indifférentes à ces biais progressifs. Les données de prix et de structure produit de SECODIP MENAGES sont toujours robustes et non remises en question.

Certes les TC des panels RHF étaient aussi très faibles, surtout celui de SECODIP RHF. Ce dernier a disparu en 2005, reste le panel GIRA FS qui dispose d'une meilleure base. Il serait opportun remettre à plat cet univers GIRA RHF pour mieux identifier le nombre de repas hors domicile. Son intérêt est primordial en ce qui concerne toutes les formes de la restauration rapide, grosse utilisatrice de viande.

Globalement, SECODIP MENAGES resterait un outil intéressant et à préserver, de même qu'un panel sur la RHF. Les fragilités identifiées ne justifient pas un abandon mais un effort de transparence sur les TC. Deux domaines de la consommation de viande étaient en croissance et mal connus, les plats cuisinés et la restauration rapide, et les évolutions récentes vont déjà dans le sens d'une amélioration de ce point de vue.

Bibliographie.

Mainsant P., 2003, note introductive n°1, cohérence entre les principales sources d'information sur la consommation de viande, 13 p.
Mainsant P., 2003, note introductive n°2, examen de représentativité de Secodip RHF par une confrontation des sources sur le nombre de repas en RHF, 13 p.
Mainsant P., 2006, rapport final n° 1, confidentiel OFIVAL, les risques de sous estimation des achats des ménages par le panel Secodip ménages, 79 p.
Mainsant P., 2006, rapport final n° 2, confidentiel OFIVAL, les risques de sous estimation des achats de la RHF, analyse critique de 2 sources sur la RHF, SECODIP RHF et GIRA FS, 48 p.

Mainsant P., 2006, rapport final n° 3, confidentiel OFIVAL, l'évolution des pertes de poids le long des filières, 14 p.

De Fontguyon G., 2006, rapport final n° 4, confidentiel OFIVAL, les risques de surestimations des consommations calculées par bilan par le SCEES, 27 p.
Mainsant P., 2006, rapport final n° 5, confidentiel OFIVAL, synthèse générale, 23 p.

SESSION 1

Socio-Economie de la filière

Animateurs : Pascal Mainsant (Inra-Ivry)
et Bernard Fostier (Ifip)

Communications orales

EVALUATION GLOBALE DU BIEN-ETRE ANIMAL EN VUE DE SON INTEGRATION DANS DES DEMARCHES QUALITE

BOTREAU R.[1,2], CAPDEVILLE J.[1], PERNY P.[2], VEISSIER I.[3]

[1] Institut de l'Elevage, BP 42118, 31321 Castanet Tolosan Cedex
[2] LIP6, 8 rue du Capitaine Scott, 75015 Paris
[3] INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores - ACS, 63122 Saint-Genès-Champanelle

avec la collaboration de M. BONDE (Danish Institute of Agricultural Sciences), M. BRACKE & K. van REENEN (Wageningen University and Research centre), A. BUTTERWORTH (University of Bristol Clinical Veterinary Science), L. KEELING (Uppsala University of Agricultural Science)

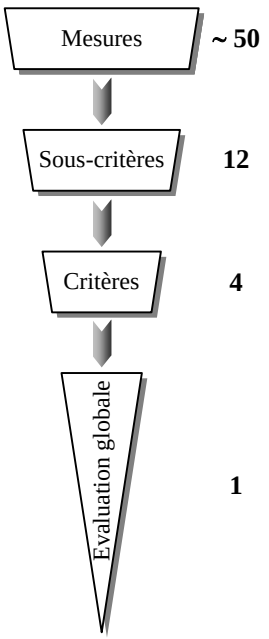
Introduction

Les questions de bien-être animal préoccupent de plus en plus les sociétés occidentales (Roex and Miele, 2005). D'ores et déjà, le respect du bien-être animal est mis en avant par des producteurs (ex : le porc *Thierry Schweitzer*), des transformateurs (ex : *Charal*), des distributeurs (ex : *Filière Qualité Carrefour*) et des chaînes de restauration (ex : *McDonald's*). Cependant, la façon dont le bien-être est pris en compte varie largement d'un cahier des charges à un autre. Or il n'existe pas de méthode de référence pour l'évaluation du bien-être. C'est dans ce cadre que la Commission Européenne cofinance depuis 2004 le projet Welfare Quality®. Son objectif est de construire un standard en matière d'évaluation et d'information sur le bien-être des bovins, porcs et volailles (poules pondeuses, poulets de chair). Ce standard pourra ainsi servir de base de communication entre les différentes parties prenantes, des éleveurs aux consommateurs, en passant par l'Union Européenne (Blokhuis et al., 2003).
Le bien-être animal se compose de plusieurs dimensions : santé, comportement, absence de stress…. Ces dimensions ne se compensent pas entre elles. Ainsi, la bonne santé ne compense pas la restriction des comportements ; par exemple le bien-être des veaux élevés en cases individuelles est considéré comme médiocre car celles-ci ne permettent ni les mouvements des animaux ni les contacts entre eux, bien que l'incidence de maladies y soit plus faible (Broom et al., 1995). L'évaluation globale du bien-être doit donc reposer sur un ensemble de mesures, complémentaires les unes des autres. Les méthodes développées en Aide à la Décision Multicritère (Bouyssou, 1990) sont explorées afin d'agréger les informations ainsi recueillies en une évaluation globale.

Une évaluation multicritère

Nous proposons une approche formelle pour l'évaluation multicritère du bien-être animal. Cette approche est basée sur une structure hiérarchique dans laquelle plusieurs critères complémentaires, non réductibles à un seul, sont construits à partir d'une cinquantaine de mesures prises sur les animaux, puis sont agrégés afin d'obtenir une évaluation globale (Figure 1).
La famille de critères doit obéir à certaines contraintes (Bouyssou, 1990). Elle doit être à la fois exhaustive et minimale, composée au maximum d'une douzaine de critères, acceptés et reconnus par les futurs utilisateurs du système d'évaluation. Enfin chaque critère doit pouvoir être interprété indépendamment des autres.
Une liste de 12 éléments répondant à ces caractéristiques a été élaborée. Ils peuvent servir de base à un diagnostic en élevage en vu d'apporter des conseils à l'éleveur. Afin de faciliter la communication sur le système d'évaluation proposé vers le grand public, il nous a semblé préférable de regrouper ces 12 éléments en 4 grandes catégories : alimentation, logement, santé et comportement. On se retrouve ainsi avec un ensemble de 4 critères et 12 sous-critères (Tableau 1) communs à tous les animaux d'élevage. Alors qu'à l'intérieur d'un sous-critère des compensations entre mesures sont possibles, les compensations sont limitées entre sous-critères, et encore plus entre critères.

Figure 1 Structure hiérarchique de l'agrégation



Agrégation de l'information

Au niveau de la construction des sous-critères, les données recueillies sur le terrain sont interprétées en terme de bien-être. A ce stade, les méthodes de synthèse de l'information les plus adaptées sont choisies en fonction du nombre de mesures à prendre en compte, de leur nature, de leur précision et de leurs importances relatives vis-à-vis du sous-critère concerné. Ainsi, pour certains sous-critères les données recueillies sur le terrain sont comparées à des seuils d'alertes, pour d'autres des sommes pondérées sont calculées, etc. L'évaluation de chaque sous-critère est présentée sous la forme d'un score allant de 0 (la pire situation envisageable) à 100 (la situation idéale), où le 50 correspond à la situation tout juste convenable. Cette échelle de notation est commune à l'ensemble des sous-critères.

Tableau 1 Critères et sous-critères de bien-être et exemples de mesures

Critères	**Sous-critères**	***Exemples de mesures***
Alimentation adaptée	Absence de faim prolongée	*Etat d'engraissement*
	Absence de soif prolongée	*Evaluation de la provision en eau*
Logement correct	Confort autour du repos	*Levers anormaux, propreté*
	Confort thermique	*Halètement*
	Facilité de déplacement	*Glissades lors des déplacements*
Bonne santé	Absence de blessures	*Blessures, boiteries*
	Absence de maladies	*Affections respiratoires, digestives, mammites…*
	Absence de douleur causée par les pratiques d'élevage	*Conditions d'écornage, de castration*
Comportement approprié	Expression des comportements sociaux	*Comportements agressifs*
	Expression des autres comportements	*Comportements anormaux (ex : stéréotypies)*
	Bonne relation Homme-Animal	*Distance de fuite des animaux*
	Absence de peur (en général)	*Réaction face à un événement extérieur*

Les sous-critères composant un même critère sont ensuite agrégés. Pour ce faire, nous utilisons une méthode qui permet de limiter les compensations entre les sous-critères en attribuant plus de poids aux sous-critères ayant obtenus les moins bons scores. Ceci permet ainsi d'encourager les éleveurs à améliorer en priorité les points les plus problématiques.

Enfin, l'agrégation des critères pour former une évaluation globale utilisera une méthode de comparaison à des profils prédéfinis délimitant des classes de bien-être. Cette méthode permettra de limiter encore plus les compensations.

A chaque étape, le modèle d'évaluation est paramétré sur la base d'avis d'experts. Les experts interrogés sont plutôt des chercheurs en comportement, santé ou bien-être animal pour le premier niveau d'agrégation, et plutôt des utilisateurs futurs du standard d'évaluation pour l'étape d'agrégation finale.

Conclusions

La construction progressive d'une évaluation globale du bien-être des animaux en ferme permet de maintenir accessible l'information à chaque niveau de la construction et évite l'écueil des « boîtes noires ». Ainsi, cet outil peut tout à fait servir de base de diagnostic en élevage en utilisant les informations recueillies au niveau des sous-critères, voire des mesures, comme base de discussion avec l'éleveur. En permettant l'affectation d'une exploitation à une classe de bien-être, il permet aussi et surtout d'intégrer de manière formalisée le bien-être animal dans des démarches de qualité en élevage. Le système d'évaluation du bien-être qui résultera du projet Welfare Quality® (en 2009) pourrait alors avoir plusieurs utilisations, que ce soit dans le cadre d'un label spécifique au bien-être, ou plus vraisemblablement comme partie dédiée au bien-être au sein de labels qualité déjà existants, ou encore comme outil de conseil à l'éleveur. L'acceptabilité de l'utilisation d'une information sur le bien-être animal pour des produits de qualité et son impact socio-économique seront évalués par d'autres partenaires de Welfare Quality®.

Références bibliographiques

Blokhuis H.J, Jones R.B., Geers R., Miele M., Veissier I., 2003. Animal Welfare, 12(4), 445-455.
Bouyssou D., 1990. In: Bana e Costa C.A. (ed.) Readings in Multiple Criteria Decision-Aid. Springer Verlag, Heidelberg, 58-80.
Broom D.M., Blokhuis W.J., Canali E., Dijkhuizen A.A., Fallom R., Le Neindre P., Saloniemi H., Webster A.J.F., 1995. Report of the scientific veterinary committee. Animal welfare section on the welfare of calves. Commission Européenne.
Roex J., Miele M., 2005. Welfare Quality Reports n°1 - Farm Animal Welfare Concerns, consumers, retailers and producers. Cardiff University, 171 pp.

Remerciements

Cette étude fait partie du projet de recherche Welfare Quality® qui est cofinancé par la Commission Européenne, au sein du 6ème Framework Programme, contrat N° FOOD-CT-2004-506508. Le texte représente les opinions des auteurs et ne représente pas forcément la position de la Commission qui ne sera pas responsable de l'utilisation faite de telles informations.

CONSTRUCTION DE LA DEMARCATION D'UN PRODUIT SLOVENE TRADITIONNEL, LE JAMBON SEC DE KARST (“Kraški pršut”)

ČANDEK-POTOKAR M.[1], SANS P.[2]
[1]Agricultural Institute of Slovenia, Hacquetova 17, 1000 Ljubljana, Slovenia
[2]ENV Toulouse & INRA-LORIA, BP 87 614 31 076 Toulouse Cedex 3, France

Durant la période précédant l’accession à l’U.E, le gouvernement slovène a mis en œuvre une politique volontariste destinée à favoriser la différenciation par le marché de produits de qualité (Sans et al., 2006), en vue d’un enregistrement dans le cadre des règlements sur les Appellations d’Origine Protégées et des Indications Géographiques Protégées. C’est dans cette perspective que nous avons mené une étude ayant pour objectif d’évaluer la perception par les consommateurs de produits carnés secs traditionnels slovènes, parmi lesquels un jambon sec non fumé de forte notoriété : le jambon du Karst.

Matériel et méthodes

1. Approche qualitative : deux *focus groups*, composés chacun de 8 consommateurs âgés de 25 à 50 ans et d’un niveau d’éducation variable, ont été réunis pour des séances de discussion de 2 heures au minimum. Ils ne comprenaient que des personnes responsables des achats des ménages : pour chacun de ces derniers, au moins deux produits carnés secs sont consommés chaque mois. Les membres des *focus groups* étaient interrogés sur les occasions de consommation de chaque produit carné et sur les facteurs qui influençaient leurs choix au moment de l’achat.
2. Enquête téléphonique: 504 ménages slovènes, répartis sur tout le territoire, ont été interrogés par téléphone par une société spécialisée (GFK Gral-Iteo). Seuls des ménages consommateurs de produits carnés secs, régulièrement ou occasionnellement, ont été retenus. L’entretien, d’une durée moyenne de 15 minutes, s’est adressé à la personne effectuant les achats. Elle a été interrogée sur les caractéristiques de la consommation de ces produits, avec un intérêt plus marqué pour les jambons secs.

Résultats et discussion

L’acte d’achat est lié au caractère pratique de ces produits (mets « prêts à servir », longue durée de conservation…). Les caractéristiques du point de vente (assortiment, propreté, qualité du personnel) sont mentionnées par les participants comme des éléments importants à l’instar des offres promotionnelles ou des innovations produits susceptibles de susciter des achats d’impulsion.
En ce qui concerne les produits, outre leurs attributs intrinsèques (couleur, taille et forme, caractère maigre, prix…), les participants valorisent positivement leur origine slovène et leur mode de production («fabriqués à la ferme»). Le lien avec “la gastronomie traditionnelle slovène” est fortement et positivement exprimé par des mots ou expressions tels que: patriotisme, fierté, nostalgie des souvenirs familiaux, enfance, plaisir, occasions festives ou sociales, goût…
En outre, les discussions ont permis de distinguer deux catégories de produits : ceux considérés comme réputés et prestigieux (ex: le jambon sec) plutôt réservés à des occasions festives, et ceux d’achat plus courant (saucisse sèche par ex). Enfin, il est intéressant de noter que très peu de participants ont émis des opinions négatives sur ces produits (gras, cholestérol, lien avec des problèmes de santé…).

Au cours de l’enquête téléphonique, les ménages ont été interrogés sur la fréquence de consommation des différents produits proposés (Tableau 1).

Tableau 1: Fréquence déclarée de la consommation de produits carnés secs (% des réponses).

n=504	Jambon fumé	Jambon du Karst[1]	Poitrine	Cou	Salami	Saucisse	« Estomac »[2]
Régulièrement	4,0	9,3	6,9	5,6	21,6	12,3	1,6
Parfois	63,0	76,6	65,9	73,6	69,8	69,8	33,7
Jamais	33,0	14,1	27,2	20,8	8,5	17,9	64,7

[1] jambon sec non fumé, méthode de production similaire aux jambons italiens.
[2] ce produit est un salami de forme rectangulaire présenté dans la vessie du porc.

Le salami est le plus souvent acheté, l’estomac séché le moins. La position du Jambon du Karst (“Kraški pršut”) est remarquable : en effet, en dépit du fait qu’il soit le produit le plus cher, 86% des ménages déclarent en acheter régulièrement ou occasionnellement.
Une large majorité des répondants (82,3%) déclare accroître sa consommation de produits carnés secs lors d’occasions festives. Le choix du produit est déterminé, dans un ordre décroissant d’importance déclarée, par la région de provenance, l’aspect visuel du produit et le mode de production traditionnel. Le prix ne constitue pas un facteur déterminant aux dires des personnes enquêtées.

En ce qui concerne le lieu d'achat, plus de 70% des ménages achètent ces produits dans des magasins en libre service (moyennes et grandes surfaces), qui constituent également le premier lieu d'achat pour la majorité des répondants. 38% des ménages les achètent en boucheries-charcuteries (7% en font leur premier lieu d'achat). L'approvisionnement en produits fermiers par des circuits courts (21,8% des répondants) et les achats directs de ces produits à la ferme (14,3%) traduisent la confiance témoignée lors des *focus groups* pour ce mode de production. Cependant, ces circuits ne constituent la principale source d'approvisionnement que pour, respectivement, 3 et 2% des répondants. Cette part peut être considérée comme faible compte tenu que 49,5% de la population slovène vit en milieu rural et que 12% des ménages ont au moins un de leur membre lié au secteur agricole.
L'analyse des réponses quant à la notoriété des produits traditionnels (Figure 1) et à leur image respective (Figure 2) montre que le jambon sec du Karst ("Kraški pršut") est de très loin le plus connu et qu'il possède un statut à part pour les consommateurs slovènes. Les différences entre les autres produits sont faibles.

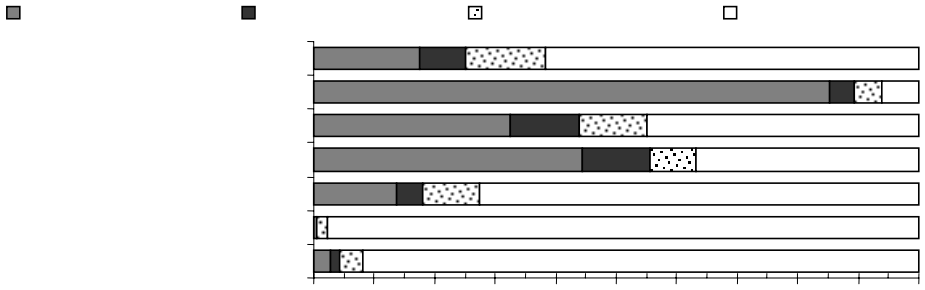


Figure 1 : Degré de connaissance des produits carnés secs par les consommateurs slovènes (n=504)

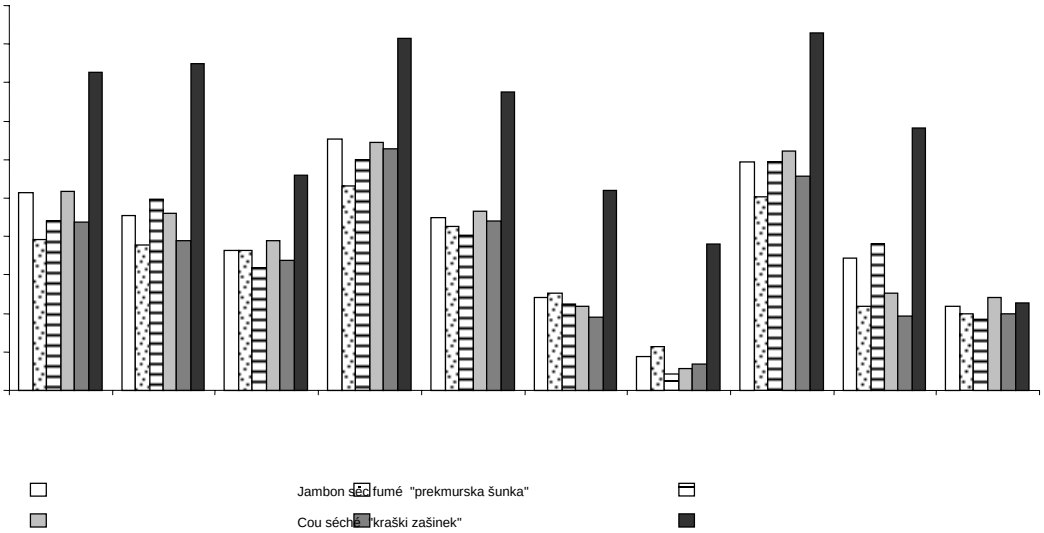


Figure 2: Image des produits carnés secs pour les consommateurs slovènes (n=504)

Conclusions

Les consommateurs slovènes perçoivent les produits carnés secs comme des biens de qualité et valorisent positivement la provenance slovène, le caractère traditionnel et la production « à la ferme ». Le jambon (sec non fumé) du Karst occupe une place particulière : sa notoriété est forte et il est fréquemment associé aux occasions festives. Compte tenu de l'enjeu économique, ce produit bénéficie depuis avril 2004 d'une protection géographique au niveau slovène. Une demande d'enregistrement en tant qu'IGP a été transmise à l'Union Européenne en octobre 2004. Les premiers produits certifiés ont été mis sur le marché en octobre 2005.

Références

Sans P., Lassaut B., Čandek-Potokar M. (2006) J Centr. Europ. Agric., 7(1), 79-90..

Remerciements : les auteurs remercient la société GFK Gral-Iteo pour l'enquête téléphonique. Cette étude a été financée, dans le cadre du projet V4-0864, par les ministères de l'Agriculture et de la Science de la République Slovène.

SESSION 2

Valeur nutritionnelle et valeur santé des viandes et des produits carnés

Animateurs : Jacques Mourot (Inra-Rennes)
et Jean-Luc Vendeuvre (Ifip)

Conférences

LA PLACE DE LA VIANDE ET DES PRODUITS A BASE DE VIANDE COMME ALIMENTS-VECTEURS DANS LES APPORTS NUTRITIONNELS DE LA POPULATION FRANÇAISE

JEAN-LUC VOLATIER[1], ARIANE DUFOUR[1]

[1] Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, Direction de l'Evaluation des Risques Nutritionnels et Sanitaires, Maisons-Alfort, France

Introduction

La surveillance des apports nutritionnels fait pleinement partie des politiques de santé publique en France depuis la fin des années 90. Parmi les objectifs nutritionnels prioritaires du Programme National Nutrition Santé (Ministère délégué à la Santé, 2001) portant sur les apports nutritionnels, quelques uns concernent de façon plus ou moins directe les viandes (viandes bovines, ovines, porcines et produits dérivés). On peut citer les recommandations suivantes : objectif nutritionnel prioritaire n°5 « réduire la contribution moyenne des apports lipidiques totaux à moins de 35% des apports énergétiques journaliers, avec une réduction d'un quart de la consommation des acides gras saturés au niveau de la moyenne de la population (moins de 35% des apports totaux de graisses) », objectif spécifique n°1 « réduire la consommation moyenne de chlorure de sodium à moins de 8 g/personne et par jour », objectif spécifique n°2 « diminuer la prévalence d'anémie ferriprive chez les femmes en âge de procréer à moins de 3% » et n°5 « réduire la fréquence de l'anémie ferriprive chez les enfants de 6 mois à 2 ans à moins de 2% et à moins de 1,5% chez les 2-4 ans ».

De ces objectifs populationnels dérivent les 9 repères de consommation dont un concerne les « viandes et volailles, produits de la pêche et œufs » : la fréquence recommandée est de une à deux fois par jour, en quantité inférieure à celle de l'accompagnement et spécifiquement pour les viandes en privilégiant la variété des espèces et les morceaux les moins gras ». Il faut souligner que au sein de cette recommandation portant sur les produits carnés en général, au moins deux repas par semaine doivent laisser une place aux poissons. Il apparaît donc que la viande ne fait pas l'objet d'une recommandation spécifique mais fait partie d'un groupe d'aliments plus large « viande, poisson, œuf ». Une publication récente (Dubuisson et al, 2006) montre que plus des trois quarts de la population française atteignent ce repère d'un à deux aliments du groupe « viandes, poissons, œufs » par jour.

La consommation de viande est fortement ancrée dans les habitudes alimentaires françaises. Cependant, si l'on définit par viande les viandes bovines, ovines, porcines et les produits élaborés qui en dérivent, la consommation de viande sur longue période a connu une transformation structurelle importante dans les vingt dernières années avec une baisse de la consommation apparente de viande bovine et ovine et une augmentation de la consommation apparente de viande porcine dont une part importante est utilisée en charcuterie (FAO, 2006). Cependant, on ne dispose pas en France actuellement d'évolutions sur longue période des consommations réelles de viande mais seulement de la disponibilité également appelée « consommation apparente » et des ventes. Il est donc actuellement possible de faire uniquement des photographies à un instant donné des consommations de viande et des apports nutritionnels provenant des viandes à partir d'études nutritionnelles ponctuelles telles que l'étude nationale de consommation alimentaire INCA. C'est l'objectif de cette présentation.

Matériels et méthodes

L'enquête Individuelle et Nationale sur les Consommations Alimentaires (étude INCA) a été réalisée par le Crédoc en 1998-1999 et exploitée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. 1985 adultes de 15 ans et plus et 1018 enfants de 3 à 14 ans ont participé à l'étude. Un relevé des consommations alimentaires sur 7 jours consécutifs à été réalisé au moyen d'un carnet de consommation rempli jour après jour par les enquêtés. L'identification des portions a été facilitée par l'emploi du carnet photographique Suvimax. Les enquêtes ont été réparties de façon uniforme sur une année complète pour prendre en compte la saisonnalité de la consommation alimentaire. La représentativité de l'échantillon a été assurée par une stratification selon la région et la taille d'agglomération et la méthode des quotas selon l'âge, le sexe, la catégorie socio-professionnelle individuelle, la taille du ménage. 913 aliments différents ont été utilisés pour décrire la consommation alimentaire des participants à l'étude. Leur composition nutritionnelle a été estimée à partir de la base de données du Centre d'Information sur la Qualité des Aliments Afssa/CIQUAL (Favier et al, 1996).

Le croisement des consommations alimentaires avec les compositions nutritionnelles du CIQUAL a permis d'estimer les apports nutritionnels pour tous les participants de l'étude ainsi que la contribution des différents types d'aliments aux apports nutritionnels. Les aliments ont été regroupés en 44 groupes afin de présenter les apports nutritionnels

quotidiens moyens selon ces catégories. Seuls les enquêtés adultes dont les apports énergétiques étaient compatibles avec leurs dépenses énergétiques (n=1474) ont été pris en compte dans les analyses, la méthode utilisée étant détaillée dans le rapport général de l'étude (Volatier, 2000).

Résultats

Dans la population adulte (15 ans et +) de l'étude INCA, la consommation des viandes (ovine, bovine, porcine) s'élève à 59,5 $g.j^{-1}$ et contribue avec 125,3 $kcal.j^{-1}$ en moyenne à 5,7% des apports énergétiques (tableau 1). Si l'on ajoute les charcuteries, la consommation moyenne s'élève à 97,9 $g.j^{-1}$ soit 229,6 $kcal.j^{-1}$ et 10,4% des apports énergétiques moyens. Nous continuerons à appeler « viandes » dans cet article ces trois catégories de viandes, parfois appelées « viandes rouges » dans d'autres publications.

La consommation de viandes est supérieure chez les hommes (70 $g.j^{-1}$) que chez les femmes (51 $g.j^{-1}$) et il n'y a pas de différence significative selon les groupes d'âge si ce n'est une légère baisse de consommation au delà de 65 ans. Les consommations de charcuteries sont également plus élevées chez les hommes (47 $g.j^{-1}$) que chez les femmes (31 $g.j^{-1}$).

La consommation de viandes a principalement lieu lors du repas de midi (41 $g.j^{-1}$) et relativement moins lors du repas du soir (18,4 $g.j^{-1}$). En revanche, la répartition de la consommation de charcuteries entre le repas du midi et le repas du soir est plus équilibrée (17,7 $g.j^{-1}$ le midi et 19,0 $g.j^{-1}$ le soir).

Si l'on compare la place des viandes (hors charcuteries) à celle des autres aliments carnés, il apparaît que leur contribution aux apports énergétiques est légèrement supérieure à la somme de celle des volailles et des poissons.

Tableau 1. Contributions des principaux groupes d'aliments aux apports en macro-nutriments de la population adulte, selon les apports énergétiques moyens)

	Quantité (en g)	Energie (en kcal)	Protides (en g)	Glucides (en g)	Lipides (en g)
Pain, biscottes	122,6	326,3 (14,8%)	10,1 (10,9%)	68,4 (29,4%)	1,4 (1,6%)
Viandes	59,5	125,3 (5,7%)	15,5 (16,8%)	0,0 (0,0%)	7,0 (7,8%)
Fromages	39,2	124,5 (5,7%)	8,6 (9,3%)	0,1 (0,0%)	10,0 (11,1%)
Plats composés	79,6	108,4 (4,9%)	6,7 (7,3%)	6,9 (3,0%)	6,0 (6,7%)
Charcuterie	38,4	104,3 (4,7%)	6,4 (6,9%)	0,4 (0,2%)	8,6 (9,5%)
Beurre	13,6	101,2 (4,6%)	0,1 (0,1%)	0,0 (0,0%)	11,2 (12,4%)
Boissons alcoolisées	159,9	101,0 (4,6%)	0,1 (0,1%)	2,3 (1,0%)	0,0 (0,0%)
Pâtisseries	35,8	99,7 (4,5%)	1,7 (1,8%)	12,1 (5,2%)	4,9 (5,4%)
Sucres et dérivés	27,9	99,5 (4,5%)	0,1 (0,1%)	23,8 (10,2%)	0,4 (0,4%)
Pommes de terre	63,2	78,8 (3,6%)	1,2 (1,3%)	12,9 (5,5%)	2,5 (2,8%)
Viennoiseries	17,3	68,5 (3,1%)	1,4 (1,5%)	8,1 (3,5%)	3,4 (3,8%)
Volailles et gibiers	36,9	64,5 (2,9%)	10,0 (10,8%)	0,0 (0,0%)	2,7 (3,0%)
Fruits	134,2	61,9 (2,8%)	0,3 (0,3%)	15,2 (6,5%)	0,0 (0,0%)
Pizzas quiches	23,6	59,2 (2,7%)	2,1 (2,3%)	4,9 (2,1%)	3,4 (3,8%)
Yaourts, desserts laitiers	75,5	58,4 (2,7%)	3,5 (3,8%)	5,2 (2,2%)	2,6 (2,9%)
Biscuits	13,9	58,4 (2,7%)	0,8 (0,9%)	7,8 (3,4%)	2,7 (3,0%)
Sauces et condiments	9,7	49,2 (2,2%)	0,1 (0,1%)	0,2 (0,1%)	5,3 (5,9%)
Lait	119,5	45,3 (2,1%)	3,7 (4,0%)	4,9 (2,1%)	1,2 (1,3%)
Entremets	24,5	45,3 (2,1%)	1,0 (1,1%)	6,0 (2,6%)	1,9 (2,1%)
Pâtes	36,1	40,8 (1,9%)	1,4 (1,5%)	7,9 (3,4%)	0,4 (0,4%)
Sodas, colas	99,8	39,9 (1,8%)	0,0 (0,0%)	9,8 (4,2%)	0,0 (0,0%)
Poissons	29,5	39,1 (1,8%)	5,6 (6,1%)	0,6 (0,3%)	1,6 (1,8%)
Sandwiches, casse-croûte	13,8	33,4 (1,5%)	1,7 (1,8%)	4,1 (1,8%)	1,1 (1,2%)
Ensemble des apports	2416,7	2203,1	92,4	232,5	90,2

Les catégories d'aliments dont les apports énergétiques sont inférieurs à 1,5% des apports totaux ne sont pas présentées dans ce tableau

Compte tenu de leur teneur protidique élevée, les viandes contribuent avec 15,5 $g.j^{-1}$ à 16,8% des apports en protéines. Si l'on ajoute les charcuteries, les apports s'élèvent à 21,9 $g.j^{-1}$ soit 23,7% des apports quotidiens. Les apports lipidiques moyens (7 $g.j^{-1}$) correspondent à 7,8% des apports quotidiens totaux et 17,3% avec les charcuteries.

L'étude des contributions des viandes aux différents types d'acides gras montre que les viandes contribuent en moyenne à 10% des apports en acides gras mono-insaturés (3,05 $g.j^{-1}$), à 5% des apports en acides gras poly-insaturés (0,46 $g.j^{-1}$) et à 7% des apports en acides gras saturés (2,76 $g.j^{-1}$). Pour les charcuteries, ces contributions s'élèvent respectivement à 12% des apports en acides gras mono-insaturés (3,83 $g.j^{-1}$), à 9% des apports en acides gras poly-insaturés (0,93 $g.j^{-1}$) et à 8% des apports en acides gras saturés (3,18 $g.j^{-1}$).

Dans cette étude, la densité énergétique moyenne des viandes est de 2,1 $kcal.g^{-1}$, celle des charcuteries est de 2,7 $kcal.g^{-1}$, celle des volailles et gibiers s'élève à 1,7 $kcal.g^{-1}$ et celle des poissons à 1,3 $kcal.g^{-1}$. Ces valeurs moyennes reflètent à la fois la diversité des densités énergétiques des différents aliments constituant ces groupes et leurs consommations. Les densités énergétiques s'expliquent principalement par les teneurs lipidiques : 11,8% pour les viandes, 22,4% pour les charcuteries, 7,3% pour les volailles et gibiers et 5,4% pour les poissons.

Tableau 2. Contributions des viandes et principaux groupes d'aliments vecteurs aux apports en vitamines de la population adulte (sélection des vitamines pour lesquelles les viandes contribuent à plus de 5% des apports moyens)

	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)	Vit. B3 (mg)	Vit. B5 (mg)	Vit. B6 (mg)	Vit. B12 (µg)
Pain, biscottes	0,12 (9,7%)	0,07 (4,2%)	1,39 (7,4%)	0,37 (8,3%)	0,15 (8,7%)	0,0 (0,0%)
Lait	0,06 (4,8%)	0,21(12,7%)	0,12 (0,6%)	0,45 (10,1%)	0,02 (1,2%)	0,28 (4,4%)
Yaourts, desserts lait.	0,03 (2,4%)	0,15 (9,1%)	0,08 (0,4%)	0,29 (6,5%)	0,04 (2,3%)	0,13 (2,0%)
Fromages	0,02 (1,6%)	0,18 (10,9%)	0,26 (1,4%)	0,23 (5,2%)	0,06 (3,5%)	0,76 (11,9%)
Œufs et dérivés	0,01 (0,8%)	0,07 (4,2%)	0,01 (0,1%)	0,23 (5,2%)	0,02 (1,2%)	0,22 (3,4%)
Viandes	0,14 (11,3%)	0,15 (9,1%)	3,06 (16,3%)	0,37 (8,3%)	0,21 (12,1%)	0,98 (15,3%)
Volailles et gibiers	0,03 (2,4%)	0,07 (4,2%)	2,66 (14,2%)	0,36 (8,1%)	0,16 (9,2%)	0,60 (9,4%)
Abats	0,01 (0,8%)	0,06 (3,6%)	0,26 (1,4%)	0,13 (2,9%)	0,01 (0,6%)	1,19 (18,6%)
Charcuterie	0,17 (13,7%)	0,09 (5,5%)	1,48 (7,9%)	0,18 (4,1%)	0,09 (5,2%)	0,42 (6,6%)
Poissons	0,04 (3,2%)	0,04 (2,4%)	1,14 (6,1%)	0,16 (3,6%)	0,11 (6,4%)	0,89 (13,9%)
Légumes (hors p. de t.)	0,08 (6,5%)	0,08 (4,8%)	0,73 (3,9%)	0,28 (6,3%)	0,11 (6,4%)	0,0 (0,0%)
Pommes de terre	0,06 (4,8%)	0,02 (1,2%)	0,69 (3,7%)	0,20 (4,5%)	0,13 (7,5%)	0,0 (0,0%)
Fruits	0,05 (4,0%)	0,04 (2,4%)	0,47 (2,5%)	0,21 (4,7%)	0,14 (8,1%)	0,0 (0,0%)
Plats composés	0,06 (4,8%)	0,07 (4,2%)	1,15 (6,1%)	0,15 (3,4%)	0,10 (5,8%)	0,30 (4,7%)
Ensemble des apports	1,24	1,65	18,73	4,44	1,73	6,40

Les vitamines pour lesquelles les viandes contribuent à plus de 5% des apports sont des vitamines du groupe B et notamment la niacine ou vitamine B3 (16,3% des apports quotidiens totaux des adultes), la vitamine B12 (15,3%) et la vitamine B6 (12,1%). Les charcuteries contribuent surtout aux apports en thiamine ou vitamine B1 (13,7%). Il faut aussi souligner que les abats, malgré leur niveau de consommation faible sont aussi des contributeurs majeurs aux apports en vitamine B12 (18,6%), du fait de leur teneur moyenne élevée en cette vitamine.

Tableau 3 Contributions des principaux groupes d'aliments vecteurs aux apports en minéraux de la population adulte (sélection des minéraux pour lesquels les viandes ou les charcuteries contribuent à plus de 5% des apports moyens)

	Phosphore(mg)	Potassium (mg)	Sodium (mg)	Fer (mg)
Pain, biscottes	107,2 (8,2%)	153,5 (5,1%)	777,2 (25,1%)	1,55 (11,8%)
Lait	104,1 (8,0%)	201,5 (6,7%)	56,4 (1,8%)	0,12 (0,9%)
Yaourts, desserts lait	77,1 (5,9%)	131,8 (4,4%)	38,2 (1,2%)	0,12 (0,9%)
Fromages	158,4 (12,1%)	45,9 (1,5%)	272,7 (8,8%)	0,16 (1,2%)
Viandes	131,2 (10,1%)	222,4 (7,4%)	41,6 (1,3%)	1,38 (10,5%)
Volailles et gibiers	71,9 (5,5%)	100,4 (3,3%)	31,7 (1,0%)	0,73 (5,6%)
Charcuterie	61,0 (4,7%)	79,7 (2,7%)	406,8 (13,1%)	0,91 (6,9%)
Légumes (hors p. de t.)	44,1 (3,4%)	283,1 (9,4%)	56,8 (1,8%)	0,95 (7,2%)
Pommes de terre	28,8 (2,2%)	265,8 (8,9%)	34,0 (1,1%)	0,32 (2,4%)
Fruits	21,3 (1,6%)	265,8 (8,9%)	5,8 (0,2%)	0,36 (2,7%)
Soupes	20,6 (1,6%)	124,2 (4,1%)	319,9 (10,3%)	0,48 (3,7%)
Plats composés	78,3 (6,0%)	162,4 (5,4%)	265,7 (8,6%)	1,0 (7,6%)
Ensemble des apports	1304,0	2996,7	3097,2	13,12

En ce qui concerne les minéraux, les viandes contribuent principalement aux apports en fer (10,5% des apports nutritionnels quotidiens des adultes) et en phosphore (10,1%). Les charcuteries contribuent principalement aux apports en sodium (13,1%) alors que les viandes y contribuent très peu (1,3%). Bien qu'il ne soit pas possible d'estimer avec précision les apports en zinc dans l'étude INCA en raison de données manquantes dans la table de composition utilisée, une première estimation des apports en zinc montre que les viandes peuvent être une source importante de ces apports (environ 17%).

Discussion

Les résultats présentés ici sont des apports nutritionnels estimés en combinant l'étude nationale de consommation alimentaire individuelle INCA et des données moyennes de composition nutritionnelle des aliments issues de la base de données CIQUAL. Même si la méthodologie de l'étude INCA a été validée, elle porte sur des déclarations individuelles qui peuvent être parfois inexactes (oublis de déclaration, mauvaises estimations des tailles de portions). Par ailleurs, la table de composition des aliments doit être actualisée régulièrement pour tenir compte de l'évolution de la composition nutritionnelle des aliments. Les données présentées ici sont donc représentatives de la situation au début des années 2000, qui peut avoir évolué depuis.

Un autre risque d'approximation provient de la non prise en compte de la variabilité de la composition nutritionnelle des aliments entre individus (nous avons considéré ici les compositions nutritionnelles moyennes). Or il pourrait y avoir une hétérogénéité de cette composition, notamment du niveau de matière grasse selon la tendance des consommateurs à éviter ou non les apports lipidiques dans leur alimentation.

Enfin, la croissance de la consommation de produits élaborés comprenant de la viande en plus ou moins grande quantité rend difficile l'estimation de la consommation totale de viande à travers les plats composés (Cosgrove et al, 2005). Nous avons dans cette étude tenté de décomposer en ingrédients le maximum de plats composés afin d'estimer la consommation des divers ingrédients. Cependant, il est parfois impossible d'estimer avec précision des recettes moyennes (part des différents types de viandes dans le couscous par exemple) ce qui nous a conduit à conserver une catégorie de plats composés dans nos analyses. Les apports nutritionnels provenant des viandes sont donc sans doute sous-estimés dans cette étude, tout comme d'autres apports de produits utilisés comme ingrédients dans des plats composés.

La méthodologie de l'étude ne permet pas de distinguer différentes catégories de consommateurs de viande (réguliers, occasionnels, non consommateurs) dans la mesure où la non consommation de viande la semaine d'observation n'est pas synonyme de non consommation absolue de viande. Réciproquement, la consommation fréquente de viande dans la semaine d'observation ne signifie pas que le consommateur enquêté consomme fréquemment de la viande les autres semaines de l'année. Des travaux de recherche sont en cours pour tenter de modéliser au niveau populationnel les habitudes de consommation sur longue période à partir d'un nombre limité de jours d'observation mais ces méthodes statistiques ne sont pas systématiquement validées (Hoffmann et al, 2002). Les végétariens n'étaient pas en nombre suffisant dans cette étude pour permettre une analyse de leurs apports nutritionnels.

Malgré toutes ces réserves méthodologiques, les apports moyens estimés pour la population française adulte ainsi que la contribution des viandes à ces apports apparaissent très comparables à d'autres études.

En ce qui concerne les apports en macro-nutriments, plusieurs études représentatives au niveau national (Rigaud et al, 1997), au niveau de différentes régions telles que l'étude MONICA (Jost et al, 1990) ont obtenu des résultats très comparables à ceux de l'étude INCA.

Il existe peu de publications issues d'études représentatives sur la contribution des viandes aux apports en vitamines du groupe B. En Irlande (Cosgrove et al, 2005), avec une consommation de viandes environ deux fois plus importante que dans notre étude (134 g j^{-1} soit un écart de 226%), la contribution des viandes aux apports en vitamine B1 (15%), B6 (16%) et B12 (29%) étaient également nettement supérieures à celles constatées dans notre étude (respectivement +36%, +33% et +89%). Cette différence peut être liée à des écarts de profils de consommation alimentaire entre les deux pays.

En ce qui concerne les minéraux, les apports en fer sont estimés dans l'étude Suvimax à 12,3 $mg.j^{-1}$ chez les femmes et 16,7 $mg.j^{-1}$ chez les hommes (Galan et al, 1998) et la contribution des viandes et des poissons était estimée à 25% du fer consommé dans l'étude Val de Marne (Hercberg, 1991). Ces résultats sont comparables à ceux présentés ici. Les apports en phosphore apparaissent actuellement dans la population française de l'ordre de 1500 à 1600 mg par jour avec environ un tiers des apports en provenance des viandes, poissons et œufs (Martin, 2000). Notre estimation étant du même ordre de grandeur mais plutôt dans la fourchette basse avec une contribution des produits carnés (viandes, poissons œufs) tout à fait cohérente.

En ce qui concerne les apports sodés, un récent rapport de l'Afssa a montré que la contribution relative des différentes catégories d'aliments vecteurs étaient pratiquement les mêmes dans les études INCA1 et SU.VI.MAX (Afssa, 2002). C'était en particulier le cas pour les charcuteries (13,1% des apports dans l'étude INCA, 13,3% des apports chez les hommes et 11,6% des apports chez les femmes dans l'étude SU.VI.MAX). Les viandes apparaissaient comme très peu contributrices aux apports sodés dans les deux études.

Il est beaucoup plus difficile de faire des comparaisons internationales sur les contributions des viandes aux apports nutritionnels en raison des différences méthodologiques observées pour les enquêtes de consommation alimentaires ainsi que pour les tables de composition des aliments. Une revue internationale a récemment été réalisée par la British Nutrition Foundation (Williamson et al, 2005) à la demande de l'organisation professionnelle Meat and Livestock Commission (MLC). Parmi les études citées, l'étude de calibration de la cohorte européenne EPIC montre que notre estimation de consommation de viandes rentre dans la fourchette constatée dans les différents pays participant à cette cohorte à savoir entre 40 et 121 g j^{-1} chez les hommes et entre 24 et 57 g j^{-1} chez les femmes pour les viandes rouges (Linseisen et al, 2002) contre respectivement 70 $g.j^{-1}$ chez les hommes et 51 $g.j^{-1}$ chez les femmes dans notre étude. L'estimation de la cohorte EPIC pour la France (40 $g.j^{-1}$ à 48 $g.j^{-1}$ selon les régions) n'est pas très éloignée de notre estimation même si elle ne peut pas être considérée comme représentative car elle porte uniquement sur des femmes employées par l'éducation nationale.

En ce qui concerne les contributions des viandes aux apports nutritionnels, il est souligné (Williamson, 2005) la contribution des viandes (viande bovine, ovine, porcine) aux apports en protéines et en lipides ainsi que pour les micro-nutriments en fer, zinc, vitamines du groupe B et vitamine D. Tous ces points sont identifiés dans notre étude, sauf la contribution aux apports en vitamine D. Des investigations plus poussées sur les tables de composition du CIQUAL seraient nécessaires pour mieux étudier cette discordance apparente pour les apports en vitamine D.

Conclusions

Les viandes (bovine, ovine, porcine) font partie des habitudes alimentaires courantes en France pour un grand nombre de nos concitoyens. L'ordre de grandeur des quantités moyennes consommées est assez comparable à ceux observés dans d'autres pays d'Europe. Les contributions des viandes aux apports nutritionnels n'apparaissent donc pas très différentes dans l'étude INCA par rapport à celles mesurées dans d'autres études internationales. Les viandes contribuent significativement aux apports en protéines, lipides dont acides gras mono-insaturés, fer, zinc, vitamines du groupe B et notamment vitamine B12. Les charcuteries contribuent aussi aux apports protéiques et lipidiques avec une sur-représentation des acides gras mono-insaturés. Les charcuteries contribuent mais de façon moins marquée que les viandes aux apports en vitamines du groupe B, au fer et au zinc. Elles contribuent en moyenne très significativement aux apports sodés. La difficulté à intégrer de façon objective les produits élaborés à base de viande dans les estimations des contributions nutritionnelles des viandes montre clairement que davantage de recherche est nécessaire dans ce domaine. Une plus grande collaboration internationale et en particulier européenne permettrait de comparer avec plus de robustesse les contributions des viandes dans les différents pays.

Références bibliographiques

Afssa, 2002. Rapport sel, évaluation et recommendations.

Cosgrove M., Flynn A., Kiely M., 2005. Impact of disaggregation of composite foods on estimates on intakes of meat and meat products in Irish adults, Public Health Nutr. May; 8(3) : 327-37

Dubuisson C., Lioret S., Gautier A. et al, 2006. Comparison of two national food surveys (INCA1 1998-99 and Health Nutrition Barometer 2002) with regard to five food recommendations of the National Nutrition and Health Program, Rev. Epidémiol. Santé Publique Feb; 54(1):5-14

FAO, 2006. Faostat database ; http://faostat.fao.org

Favier JC., Ireland J., Toque C. et al, 1996. Répertoire général des aliments, table de composition REGAL (version 1995), éditions TEC & DOC Lavoisier

Galan P., Yoon H.C., Preziosi P. et al., 1998. Determining factors in the iron status of adult women in the SU.VI.MAX study. Eur. J. Clin. Nutr. 52 : 383-388

Hercberg S., Preziosi P., Galan P. et al, 1991. Apports nutritionnels d'un échantillon représentatif de la population du Val de Marne : 3 les apports en minéraux et vitamines. Rev. Epidémiol. Santé Publique 39 : 245-261

Hoffmann K., Boeing H., Dufour A. et al, 2002. Estimating the Distribution of Usual Dietary Intake by short-term measurements, Eur. J. Clin. Nutr., 56, S2, 53-62.

Jost J.P., Simon C., Nuttens M.C. et al, 1990. Comparison of dietary patterns between population samples in the three French MONICA nutrition surveys. Rev. Epidémiol. Santé Publique, 38, 517-23

Martin A., 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3ème édition, CNERNA-CNRS, Afssa, éditions TEC & DOC, Paris

Ministère délégué à la Santé, 2001. Programme National Nutrition Santé 2001-2005

Rigaud D., Giachetti I., Deheeger M. et al., 1997. Enquête Française de consommation alimentaire. I. Energie et macronutriments, Cah. Nutr. Diét., 32, 379-389.

Volatier J-L., 2000. Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires, enquête INCA, éditions TEC & DOC, Paris

Williamson C. S., Foster R. K., Stanner S. A. et al, 2005. Red meat in the diet, British Nutrition Foundation, London, Nutrition Bulletin, 30, 325-355.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements aux autres contributeurs de l'étude INCA (G. Calamassi, J Maffre, et G Verheyden de l'Afssa, A-D. Brousseau-Kowalski et A. Couvreur du Crédoc), à J Ireland de l'Afssa/CIQUAL qui a fourni les données de composition nutritionnelle des aliments ainsi qu'à J-L. Vendeuvre du CTSCCV pour sa contribution aux recherches bibliographiques.

PREVENTION DE LA FORMATION DE COMPOSES NEOFORMES DANS LA VIANDE CUITE ET LES PRODUITS A BASE DE VIANDE EN FONCTION DE LEUR MODE DE PREPARATION OU DE FABRICATION

Jean-Luc VENDEUVRE
CTSCCV,7 av Gal de Gaulle F-94700-Maisons Alfort
(adresse actuelle IFIP-Institut du Porc 7 av Gal de Gaulle F-94700-MAISONS-ALFORT)

Introduction

Cette communication est relative à la prévention de la formation de certaines familles de substances chimiques du fait de différents modes de transformation technologique ou de préparation culinaire des viandes. Ces substances sont qualifiées de ce fait de composés *néoformés.* Il s'agit de composés *non voulus, non souhaités, ayant potentiellement un effet indésirable pour la santé* . Elles doivent de ce fait être évaluées dans le contexte des exigences de sécurité des denrées alimentaires selon les dispositions du nouveau droit alimentaire européen (règlement (CE) N°178/2002 encore appelé « Food law »)pour des conditions d'utilisation normale des denrées alimentaires/aliments (art.14.3a) (annexe 1) qui oblige à informer (art 14 3a) pour prévenir des effets préjudiciables à la santé (art 14.3.b) en tenant compte des effets probables (art 14.4.a.) et des effets toxiques probables (art 14.4.b)

Cette communication vise à faire la revue des conditions de la production de certaines familles de substances, de rassembler les données actuellement disponibles d'ores et déjà suffisantes, notamment pour celles qui sont les moins bien connues pour mettre en œuvre une approche préventive, y compris au niveau de l'utilisation domestique. Et cela sans attendre le parachèvement des travaux d'évaluation scientifique du risque, de manière à empêcher ou à minimiser la présence de substances néoformées non voulues.

Les données relatives aux nitrosamines, aux carbures polycycliques aromatiques et aux amines hétérocycliques aromatiques sont présentées.

L'évaluation scientifique du risque ou appréciation du risque.

C'est une prérogative de l'expertise scientifique qui est mise à la disposition des pouvoirs publics et des professionnels qui prennent en charge la gestion du risque. C'est dans le cadre du *Codex alimentarius* qu'ont été forgées à partir de 1995 les bases de l'analyse quantitative des risques, dont la première composante est l'évaluation (scientifique) du risque (CAC/GL-30-1999),et dont la conduite est réalisée selon les principes et directives rappelés dans l'annexe 2.

Un processus d'évaluation en marche

Jusqu'à présent la difficulté majeure était la détection et la quantification dans les denrées. Aujourd'hui « *la difficulté majeure des néoformés réside dans l'évaluation des risques toxicologiques encore relativement mal connus qui peuvent leur être associés* «(Evaluation des risques nutritionnels et sanitaires AFSSA- Priorités 2004-2007, p 29). ».

Les progrès analytiques de détection des produits néoformés et l'évolution des technologies de fabrication renforcent et légitiment les interrogations sur l'éventuel risque sanitaire associé à la présence de ces produits dans les aliments.

Cette problématique illustre bien comment « *l'évaluation des risques doit progresser en parallèle avec les aspects techniques* » et une meilleure caractérisation des réponses observées pour les différentes technologies et modes opératoires mis en œuvre

Pour ce faire, l'AFSSA :

- finalise « *la notion de seuil de préoccupation toxicologique* « à partir de bases scientifiques potentiellement exploitables pour l'évaluation scientifique des risques liés aux composés néoformés.
- souhaite prendre en compte les interactions entre les produits néoformés et les matrices alimentaires en terme de *biodisponibilité réelle*, ainsi que l'évolution des habitudes alimentaires pour mieux estimer l'exposition des consommateurs
- observe que globalement la prise en compte réglementaire au niveau national et européen reste faible , »*ce qui pose la question des niveaux de risque acceptable acceptable pour la protection des consommateurs* ».

Par ailleurs l'Agence observe que des progrès méthodologiques sont nécessaires « *dans les bases de données, dans les mécanismes cellulaires de toxicité et dans la connaissance structurelle chimique* « pour produire « *des modèles prédictifs de toxicité* », les évaluer et ainsi « *accélérer le traitement des demandes d'évaluation* ».

Pour les hydrocarbures polycycliques aromatiques, le processus d'évaluation est achevé au niveau français (AFSSA,2003) mais aussi au niveau communautaire (travaux du SCF=comité scientifique de l'alimentation humaine) à partir des données d'exposition issues des enquêtes SCOOP et des données toxicologiques et a même été traduit pour certaines denrées alimentaires telles que les produits à base de viande fumés au stade de leur commercialisation par des dispositions réglementaires harmonisées (règlement (CE)N° 208/2005 du 4 février 2005) fixant des niveaux de concentration maximales admissibles. Faute de données, cette évaluation ne couvre pas l'exposition du fait des conditions de préparation culinaire ménagère (par exemple barbecue)

Substances mutagènes, génotoxiques, cancérogènes.

Depuis le début des années 1970 l'Agence internationale de recherche sur le cancer (IARC,Lyon,France)) qui est une institution rattachée à l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) évalue des substances chimiquement identifiées, des

activités humaines (par exemple l'industrie de la chaussure) ou des expositions telles que la fumée de tabac ou le tabagisme passif par rapport au risque de cancérogenèse, selon les principes énoncés dans un « **préambule** » (http://monographies.iarc.fr) . Selon la valeur probante de la relation de causalité (the « *strenght of evidence* »), cinq classes de catégorisation ont été retenues (voir annexe 3):
Le même site Internet propose le classement de substances ainsi que des monographies
Chez l'humain, l'évaluation de la cancérogénicité est établie à partir d'études épidémiologiques qui peuvent combiner les données issues des études sur des « *cohortes* », des études « *cas-témoin* » ou des études d' »*intervention* » sur des volontaires.

Données publiées par les pouvoirs publics pour la gestion du risque..
Le règlement (CE) N° 315/93 du Conseil établit les procédures communautaires relatives aux contaminants des denrées alimentaires qui servent de référence pour fixer les teneurs maximales pour certains contaminants des denrées alimentaires (règlement (CE) N° 466/2001). Même si les études en laboratoire révèlent que les « teneurs à atteindre pour développer des tumeurs expérimentales sont de plusieurs ordres de grandeur supérieures à celles que l'on peut s'attendre à trouver dans les denrées alimentaires et à consommer » ,la doctrine du Comité Scientifique de l'alimentation humaine est compte-tenu des effets sans seuil de substances reconnues génotoxiques de limiter leur concentration dans les denrées alimentaires autant qu'il est raisonnablement possible de le faire (ALARA= « as low as reasonably achieviable »)

Gestion du risque par les professionnels.

C'est sur la base de ces données publiées par l'IARC ou d'autres instances nationales ou internationales (par exemple la liste des substances « connues pour provoquer le cancer ou la toxicité de la reproduction » de la proposition 65 du « Safe drinking water and toxic enforcement act » de 1986 de l'agence de protection environnementale de l'Etat de Californie ou encore des données issues des rapports publiés par le National Toxicological Program) et bien entendu par rapport aux valeurs limites réglementaires, lorsqu'elles existent, que les professionnels mettent en oeuvre les mesures de prévention et de surveillance pour **empêcher ou minimiser** la présence de substances non souhaitées, non voulues, non désirées dans l'aliment et ayant un effet potentiellement indésirable pour la santé .
Plus généralement l'ensemble des acteurs impliqués dans la mise sur le marché et le commerce de détail des denrées alimentaires sont tenus d'en garantir l'hygiène et à ce titre soumis aux obligations du règlement 852/2004 de mise en place du système basé sur les procédures issues de la démarche HACCP pour **définir, mettre en place et maintenir** les mesures de maîtrise et de surveillance des dangers pour la prévention des risques (art 5)

Nitrosamines

Conditions de formation
Des nitrosamines chimiquement stables sont formées à la suite de plusieurs réactions dans un environnement faiblement acide en présence d'amines secondaires (R2NH) et de nitrite.
NaNO2+ H(+)-→ HNO2 + Na(+)
HNO2+H(+)-> NO(+) + H2O
NO(+) + R2NH -> R2N-NO + H(+)
Avec décarboxylation microbienne ou du fait du chauffage certains acides amines constituent des source d'amines secondaires : NR2-COOH -> HNR2 +CO2
Selon HONIKEL, 1999, dans la viande fraîche il n' y a ni nitrite ni amines en quantité suffisante pour la production de nitrosamines. Avec les amines primaires issues de la plupart des acides aminés, on assiste à la production de nitrosamines instables dont les métabolites terminaux sont un alcool et de l'azote (RNH-NO -> ROH + N2).
Seuls le tryptophane, la proline, l'hydroxyproline, l'histidine et l'arginine et quelques autres rares acides aminés libèrent des amines secondaires par décarboxylation.
La problématique des nitrosamines n'est pas spécifiquement une problématique de la viande et des produits à base de viande. A titre d'exemple WEIGERT et al, 1986, donnent des valeurs de nitrate et nitrite pour plusieurs denrées alimentaires.

aliment	Nitrate mg/ kg médiane	Nitrate mg/kg variation	Nitrite mg/kg médiane	Nitrite mg/kg variation
Lait-produits laitiers	12	0.5-166	0.2	0.2-1.3
Viande	4.75	1-495	0.2	0.1-16.5
Produits à base de viande	29	0.1-1384	3	0.1-48.7
Céréales et produits de panification	10	0.3-194	0.4	0.3-1.0
légumes	29.3	0.05-6798	0.04	0.04-15.6
eau	10.6	0-46.8	<1.0	

Le nitrate peut etre présent en quantités élevées dans les produits végétaux. Le nitrate peut être ajouté aux produits à base de viande et laitiers. Dans la viande crue maturée ou cuite il n' y a pas de nitrite. Dans les produits de salaison le nitrite résiduel provient soit du sel nitrité soit de la conversion du nitrate en nitrite. Dans les produits cuits de type saucisses et pâtés , le pH est élevé généralement supérieur à 5.9, ce qui ne permet pas la formation de nitrosamines en quantité détectable. Par contre dans les produits crus fermentés à pH < 5.5 des nitrosamines peuvent etre formées du fait notamment de la présence possible d'amines biogènes comme conséquence de l'activité décarboxylasique de certaines flores microbiennes sauvages indésirables (*Enterococcus* spp, certaines souches de *Carnobacterium*, certaines souches de *Lb.curvatus*). Lors du chauffage de ce type de produit à la poêle ou par friture ou par rôtissage, des nitrosamines peuvent se former à des températures supérieures à 130°C.
Les nitrosamines ne constituent donc pas un risque pour les produits ne prédisposant pas à la décarboxylation et chauffés à des températures inférieures à 130°C.
La quantité de nitrosamines exogènes (ingérées par la voie alimentaire) est de l'ordre de 1µmole/jour . C'est une quantité faible comparativement à la production endogène au niveau stomacal ou intestinal qui peut atteindre, chez des sujets pathologiques, jusqu'à 100 µmole/jour (SHEPHARD,1995, cité par HONIKEL).
En terme de bilan , le nitrite ingéré provient en faible quantité des produits à base de viande , le nitrate des denrées végétales en quantité beaucoup plus élevée. Le nitrite des produits à base de viande contribue pour une part modérée au problème des nitrosamines.
En terme d'exposition, l'IARC, juin 2006,(www.iarc.fr- recent meetings) reconnaît que la contribution dans la ration des viandes saumurées à l'ingestion de nitrite « a baissé depuis 30 ans de 40 à 20%» et que l'exposition des consommateurs au nitrite exogène est aujourd'hui de l'ordre de « 0.75 à 2.2 mg/jour/adulte », mais que « chez les gros consommateurs de produits à base de viande nitrités, la contribution à l'apport journalier peut atteindre 90%. ». Selon le résumé déjà téléchargeable de la monographie IARC du Vol 94 à paraître courant été 2007 , le nitrite et le nitrate ont un statut de « *cancérogène probable (2A) uniquement dans les conditions d'une nitrosation endogène* »

Risques associés au nitrite/nitrate.
Le problème des nitrosamines dépasse aujourd'hui largement la question des nitrosamines exogènes de la ration alimentaire qui sont aujourd'hui gérées par les mesures technologiques de prévention tant au niveau de la formulation que du processus de transformation. On touche là la question de fond des processus endogènes qui impliquent à la fois le statut des substances nitrosables aux différentes étapes du transit digestif , depuis l'œsophage jusqu'au rectum en fonction des conditions de ce transit en termes de délai, de conditions de pH et pour différents scénarios de susceptibilité individuelle des sujets vis-à-vis de l'activité de leurs cytochromes P 450, mais aussi et surtout des conditions de la synthèse endogène d'oxyde d'azote via le mécanisme de l'oxyde d'azote synthase à partir de la désamination de l'arginine. C'est un événement majeur physiologique découvert au début des années 1990 qui intervient chez l'humain sujet à l'hypertension artérielle pour corriger grâce à l'effet vasodilatateur de l'oxyde d'azote à l'oxygénation suffisante des voies cérébrales supérieures mais aussi à la lutte contre les foyers microbiens infectieux et aujourd'hui une indication est établie avec la colonisation et la dégradation de la muqueuse stomacale par *Helicobacter pylori*. C'est la raison pour laquelle on peut observer une excrétion urinaire élevée de nitrosamines qui est le reflet de situations pathologiques chez les patients, avec une contribution marginale de l'exposition aux nitrosamines exogènes de la ration alimentaire. L'importance du mécanisme de la synthèse de l'oxyde d'azote endogène relativise la contribution du nitrite exogène et apporte l'éclairage nécessaire pour décoder la conclusion proposée par l'IARC. L'évaluation du statut carcinogène potentiel de centaines voire de milliers de substances nitrosables et potentiellement nitrosées est donc actuellement posé et ne peut être évalué pratiquement qu'au travers des données indirectes issues de l'épidémiologie. La contribution du secteur agroalimentaire vise prioritairement à réduire au maximum les quantités résiduelles de nitrate et nitrite utilisées à des fins technologiques principalement dédiées à l'obtention de qualités sensorielles recherchées, la couleur et l'arôme caractéristique des produits de salaison ainsi que les fonctions de sécurité microbiologiques vis-à-vis de germes pathogènes majeurs tels que *Clostridium botulinum*.

Mesures de prévention
Chez le professionnel. La prise en compte de la problématique des nitrosamines a amené de nombreuses recherches et plusieurs solutions pour réduire le taux de formation des N-nitrosamines exogènes ont été mises en place. Il s'agit de réduire la présence des composés à l'origine de la formation des N-nitrosamines, à savoir : le nitrite résiduel et les amines secondaires et d'éviter des conditions de milieu trop favorables à cette formation.

-Délai d'utilisation des matières premières carnées après abattage
Les concentrations en diamines (cadavérine, putrescine) dans la viande de porc augmentaient d'un facteur 100 après 48h de conservation à 20°C. (MASSON, 1998). Cependant, la viande, dans des conditions normales de découpage, parage, désossage (viande conservée à 4°C, consommée 8 jours après l'abattage en aérobiose ou 12 jours après l'abattage en anaérobiose) ne constitue pas un réservoir significatif d'amines biogènes. Par contre, la fabrication de produits fermentés (étuvage pendant 48h à des températures comprises entre 15 et 25°C) peut favoriser la production d'amines biogènes dans des viandes fortement contaminées par des souches exprimant une forte activité décarboxylasique.

-Réduction du niveau d'incorporation des nitrites

Dès novembre 1978, le CTSCCV et les professionnels de la charcuterie s'intéressent à la réduction de l'emploi du nitrite et du nitrate. En effet, le Code des Usages de la Charcuterie (1978) définit pour la première fois des doses maximales d'emploi de nitrite et/ou de salpêtre pour chacune des familles technologiques identifiées. Ces nouvelles règles techniques constituent un progrès majeur par rapport à la situation antérieure selon laquelle le salpêtre pouvait représenter jusqu'à 10% du poids de sel et être utilisé de surcroît conjointement et sans restriction en présence de sel nitrité . Il faut rappeler aussi que la France s'est convertie tardivement à l'emploi du sel nitrité dosé à 0.6% et que son statut réglementaire remonte, en France, à 1964 seulement. Cette situation est à rapprocher de la situation allemande qui avait reconnu précocement les bénéfices majeurs du nitrite et l'avait autorisé dès 1934.Le nitrite est un additif **incontournable** des produits à base de viande traités en salaison étant donné ses fonctions technologiques primordiales. Il n'existe pas d'alternative satisfaisante disponible : les alternatives proposées sont souvent partielles (effet antimicrobien de certaines molécules, obtention de la couleur par fumage, ajout de NO en cutter sous vide pour obtenir la couleur et le goût) et restent peu applicables à la production industrielle (THIEMIG et al. 2000). Si ces solutions alternatives ont, à ce jour, de grandes difficultés à s'implanter, il faut sans doute en rechercher la cause dans les explications qui suivent :

-absence de référencement des molécules évoquées dans les listes communautaires additifs ou coût élevé des dossiers novel foods,

-absence ou déficit d'un véritable avantage en terme de coût-bénéfice, susceptible de faire évoluer significativement les pratiques professionnelles :

i) réticence à la prise en charge des coûts de la communication pour faciliter la mise en marché,

ii) relativisation de la contribution réelle au bénéfice santé depuis que l'emploi du sel nitrité est raisonné et sécurisé par la maîtrise de la dose d'emploi, de la formulation et de la conduite du procédé,

iii) et surtout praticité et modicité du prix du sel nitrité par rapport à toutes les solutions alternatives.

La **réduction du niveau d'incorporation du nitrite de sodium** dans les produits reste la solution la plus fréquemment utilisée, la plus simple à mettre en œuvre pour les professionnels et la plus efficace car elle garantit d'emblée les teneurs les plus faibles en nitrites résiduels. On peut noter qu'il n'y a pas de relation simple entre le niveau de nitrite ajouté et le niveau de nitrite résiduel car ce niveau est fonction du temps (diminution avec le temps), du pH (disparition plus rapide quand pH bas) et de la température (disparition plus rapide quand température élevée) (OLSMAN, 1973)

Bien que les doses d'emploi réglementaires des nitrates et des nitrites au niveau de l'Union Européenne soient actuellement plus libérales que celles de l'ancienne réglementation française, on remarque que la plupart des professionnels ont conservé leurs anciennes pratiques. En effet, les valeurs réellement trouvées dans les produits sont très inférieures aux doses autorisées au niveau européen (CTSCCV, 1993).

Teneur moyenne (mg/kg)	Nitrites résiduels	Nitrates résiduels
Produits crus, séchés	14 mg/kg	75 mg/kg
Produits cuits	16 mg/kg	91 mg/kg

Le **sel nitrité** (en France, le prémélange à 0.6% de nitrite fait toujours référence malgré la déréglementation de ce pourcentage autrefois contraignant[1]) constitue actuellement le vecteur le plus sûr pour apporter, grâce à un prémélange de composition connue, les quantités de nitrite nécessaires. Ce moyen est le plus simple pour assurer d'emblée l'ensemble des fonctions technologiques souhaitées avec des apports d'importance variable selon que l'on recherche seulement la fonction couleur ou les fonctions couleur et arôme ou encore au-delà de 80 à 100mg/kg (dose d'emploi) la fonction antimicrobienne.

- Rôle des épices

Les réglementations nationales ont prudemment prévu que le nitrite ne puisse etre utilisé que sous forme d'un prémélange avec le sel (NaCl), puis ultérieurement avec d'autres sels, tels que le chlorure de potassium ou les phosphates dans le cas des denrées destinées à une alimentation particulière. L'exigence d'un prémélange avec d'autres sels à l'exclusion d'autres types de prémélanges par exemple avec des sucres, des épices est toujours en vigueur selon la réglementation européenne , par souci d'éviter toute réaction de nitrosation indésirable notamment pendant la durée de vie des prémélanges en attente d'utilisation. Les mêmes craintes sont souvent exprimées dans le cas de prémélange de sucres, salpêtre=nitrate de potassium et épices. L'hypothèse comme quoi la présence de nitrosopiperidine serait liée à la présence de poivre dans les aliments est fréquemment rencontrée dans la littérature (KLEIN, 1976).

Une étude de la fin des années 80 effectuée en Allemagne (TRICKER et al, 1991) a montré que la NPIP était détectée à de très fortes concentrations (23µg/kg) dans le poivre moulu.

Les fournisseurs de mélanges technologiques (en France le SELCO) sont attentifs à cette problématique . Le risque de formation indésirable de nitrosamines dans les sachets cutter contenant des précurseurs potentiels doit donc être évoqué au stade du référencement des spécialités commerciales.

[1] Actuellement, la réglementation européenne permet l'emploi d'un prémélange de sel nitrité ayant une teneur en nitrite comprise entre 0 et 1%.

-Additions d'agents pour prévenir la nitrosation
Il existe différents « désactivateurs » du nitrite qui aident à prévenir la N-nitrosation : l'**acide ascorbique (vitamine C)**, l'**ascorbate de sodium** et l'**érythorbate** (isomère de l'ascorbate) sont les composés actuellement les plus utilisés (voir schéma de Frouin).
L'acide ascorbique et l'ascorbate réduisent l'acide nitreux en oxyde d'azote et limitent ainsi la ressource en acide nitreux libre disponible susceptible de réagir avec les amines[2]. Cependant, la réactivité de ces deux composés reste limitée notamment à cause de leur manque de solubilité dans les tissus adipeux.
L'utilisation de dérivés à la fois hydrophiles et lipophiles de l'acide ascorbique tels que le **L-ascorbyl palmitate (AP)** et le **propyl gallate** est plus efficace à moindre taux d'addition. (PEGG et al, 2000). On peut noter que l'utilisation de ces dérivés, bien qu'autorisée dans la directive 95/2/CE, n'est pas prévue par le code des usages de la charcuterie. Cependant, elle pourrait être envisagée après vérification de l'intérêt de ces composés.

Milieu
- Maîtrise du pH
C'est à pH = 3,5 que la réaction de nitrosation entre une amine secondaire et l'acide nitreux se déroule la plus favorablement en milieu modèle. Or le pH des produits à base de viande se situe usuellement entre 5.5 et 6.5., ce qui relativise la réalité du processus de nitrosation
Par ailleurs, une baisse du pH permet de réduire plus rapidement la quantité de nitrite libre dans les produits carnés, ce qui là aussi relativise le processus de nitrosation en le privant de son précurseur à la puissance 2, ce qui veut dire qu'une réduction de moitié par deux de la concentration de nitrite non dissocié réduit de quatre fois la quantité de nitrosamines , et de 16 fois pour une réduction au quart.
- Maîtrise de la température
Comme nous l'avons déjà évoqué auparavant, il est souhaitable d'éviter le stockage prolongé des produits à température ambiante (entre 18 et 30°C).
Une température de cuisson des produits carnés traités en salaison supérieure à 150°C est favorable à la formation de nitrosamines.
Globalement, tous ces risques sont très bien maîtrisés chez les professionnels et en réalité, le « danger nitrosamines » peut surtout apparaître chez le consommateur pour les produits crus à cuire.

Produits à base de viande traités en salaison	**Maîtrise chez le fabriquant**	**Maîtrise chez le consommateur**
Produits crus à consommer en l'état ou après réchauffage	+	
Produits crus à cuire : 0) Produits de saucisserie fraîche traités en salaison (saucisses traditionnelles) 1) Poitrine, lardons	Mesures préventives chez le fabricant & Conseils de cuisson à donner au consommateur	+ +
Produits cuits	+	

-chez le consommateur

Le risque de formation des nitrosamines peut apparaître chez le consommateur au moment de la cuisson des produits à base de viande traités en salaison.

On peut formuler plusieurs recommandations à l'attention du consommateur afin de prévenir la formation de ces composés indésirables.
1) Préférer les modes de cuisson douce des produits nitrités à la vapeur ou par chauffage indirect à la friture ou à la cuisson à feu vif. Le barbecue pourrait être conservé à condition d'avoir une conduite de la cuisson sur braises et sans flammes.
2) Limiter au maximum le temps de séjour des produits nitrités sur le barbecue.

[2] Acide ascorbique + 2 HNO2 → Acide déhydro-ascorbique + 2 NO + 2 H2O (Sander, 1973)
On peut noter que l'ascorbate réagit 240 fois plus vite que l'acide ascorbique.

3) Eviter de travailler sur un barbecue où les produits pourront être au contact de la flamme. Cela implique d'avoir une bonne maîtrise de la fonte des graisses des produits à griller et donc d'acheter des produits de bonne qualité (qui tiennent leur graisse) et plutôt maigres.
4) Utiliser une précuisson à l'eau ou à la vapeur qui permet de coaguler les protéines pour ensuite limiter le temps de chauffage en chaleur sèche à haute température à la poêle ou au barbecue.
5) Décongeler les produits congelés avant cuisson. Cela permet d'éviter un temps trop élevé de chauffage fort.
6) Eviter le développement de la flore bactérienne par une hygiène sans faille et des températures de stockage suffisamment basses.
7) Griller uniquement les produits pour lesquels la cuisson au barbecue ou à la poêle est explicitement prévue (cela signifie que le professionnel aura limité le risque en amont).

Carbures polycycliques aromatiques (CPA)

Identité
Il s'agit d'un groupe de composés organiques qui contiennent deux ou plusieurs noyaux carbonés aromatiques. Ils sont formés essentiellement lors du processus de pyrolyse notamment lors de la combustion incomplète de matériaux organiques et de ce fait lors de la production de la fumée de fumage à partir d'objets ligneux : bois de feuillus, bois de résineux, pommes de pin, genévrier,….. Mais ils peuvent être présents chaque fois qu'il y a chauffage de denrées alimentaires exposées aux produits de la combustion directe de matières organiques en particulier en présence de flamme vive.
Dans le cas des viandes et produits à base de viande peuvent être particulièrement concernés les produits fumés, mais aussi les produits rissolés, grillés, frits à très haute température chaque fois que le foyer s'enflamme directement ou du fait de l'inflammation de la graisse exsudée ou encore que les produits sont exposés à de très haute température de surface , comme c'est le cas dans les barbecue américains en enceinte fermée chauffés avec des bûches de bois pyrolysées à très haute température.

Risques associés à l'exposition
On dénombre au sein de ce groupe environ 250 substances dont 16 sont considérées comme dommageables pour la santé par l'Agence Américaine de protection de l'environnement, 15 par le SCF ,Comité Scientifique de l'alimentation humaine de l'Union Européenne et 11 par l'AFSSA. La notion de « facteur d'équivalence toxique » ou TEF a été récemment introduite par le RIVM néerlandais (TRAAG et al.,2001) pour exprimer la concentration en hydrocarbures polycycliques pondérée de leur coefficient de toxicité, de manière à avoir une expression de la dangerosité totale
Parmi les 16 hydrocarbures retenus dans la nomenclature US-EPA, l'Agence Internationale pour la recherche sur le cancer a catégorisé six substances qui expriment en essai chez l'animal un effet cancérogène le benzo[a]anthracène, le benzo[a]pyrene et le dibenzo[a,h]anthracène en substance cancérogène probable (notées **2A**) et le benzo[a) fluoranthene, le benzo[k]fluoranthene ainsi que le indeno[1,2,3-cd]pyrène en cancérogène possible (2B).

Réglementation
Depuis le milieu des années 1970, la France prenait comme référence la recommandation du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) avec une teneur plafond en 3,4 benzo-pyrène= benzo[a]pyrène à 1 µg/kg. Dans son avis du 29 juillet 2003 l'AFSSA a abaissé ce seuil à 0,5 µg/kg pour le benzo[a]pyrène et établit une nouvelle recommandation à 1µg TEF/kg pour les produits fumés à froid. Le Comité scientifique de l'alimentation humaine de l'Union européenne (SFC) dans son rapport du 4 décembre 2002 n'a pas établi de seuil et introduit le nouveau concept du niveau ALARA (as low as possible = aussi faible que possible).
L'Union européenne (Directive 88/388/CE) maintient pour les arômes de fumée l'exigence que l'apport aux denrées alimentaires de benzo[a]pyrène via la « fumée liquide » ne soit pas supérieur à 0.03µg/kg dans le produit fini.
Le règlement (CE) N° 208/2005 du 4 février 2005 vient de publier pour les viandes et produits de viande fumés une valeur plafond de 5 µg/kg de 3,4 benzopyrène= benzo[a]pyrène.
Le CTSCCV estime que cette limite est inutilement libérale et recommande dans le cadre du système HACCP de rester sur une valeur cible de < 1 µg/kg et une limite critique < 2 µg/kg
Le règlement (CE) N°2065/2003 du 10 novembre 2003 qui prévoit l'autorisation préalablement à leur utilisation au plus tard le 16 juin 2005 des arômes de fumée a défini les spécifications qui sont données dans l'annexe IV . Pour la première fois il introduit la satisfaction de deux critères de conformité avec une teneur plafonnée à la fois pour le benzo[a]pyrène et pour le dibenzo[a,h]anthracène
Enfin la recommandation de la Commission du 4 février 2005 missionne les Etats-membres pour documenter la teneur en benzo[a]pyrène et les principaux hydrocarbures cancérogènes probables et possibles et anticiper sur une éventuelle réglementation à venir qui remplacerait l'actuelle teneur plafond en benzo[a]pyrène par un plafond exprimé en toxicité équivalente (TEF) d'hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Conditions de formation
Pour la *maîtrise* et l'optimisation du paramétrage de la production et du transfert de la fumée vers les produits on peut s'appuyer sur la très abondante littérature existant sur le sujet publiée majoritairement par TOTH et BLAAS dans les années 1971-1972 puis par POTTHAST de 1975 à 1980 ou encore par MüLLER au début des années 1980. (sources

CTSCCV). Ces données jaugées à l'heure d'une production scientifique devenue galopante pourraient paraître anciennes mais restent inégalées pour générer des recommandations d'une actualité toujours pertinente qui ont été mises à profit depuis quelques décennies par les professionnels à titre préventif.

Mesures préventives.
-vers les professionnels
L'optimisation de la production de la fumée consiste principalement à ajuster la température de combustion incomplète du bois à 600-650° Cette plage de température constitue un optimum qui donne le meilleur ratio de production en composés d'arômes technologiquement recherchés (acides, aldéhydes, phénols) désirables et la production d' hydrocarbures aromatiques polycycliques indésirables. Elle donne par ailleurs des fumées infiniment plus denses en grammes de carbone/m3 d'air que des températures plus basses de l'ordre de 380 400°C qui étaient parfois préconisées il y a une vingtaine d'années mais qui ne le sont plus aujourd'hui. La fumée de fumage est composée de plusieurs milliers de composés , certains très légers comme les phénols et les aldéhydes avec des poids moléculaires de l'ordre de 100 dalton contre de 250 à 350 pour les carbures polycycliques beaucoup plus lourds. De ce fait ils ont tendance à sédimenter plus facilement dans les coudes, sur les parois plus froides . Ainsi la fumée qui arrive sur le produit est déjà partiellement épurée de ces composés les plus lourds indésirables.
Pour avoir les données d'analyse les plus pertinentes et identifier les scénarios les plus critiques, le CTSCCV recommande de réaliser les prélèvements :

- En fin de cycle de fumage
- sur les produits en bas de chariot pour mesurer l'impact d'éventuelles coulures
- sur les produits les plus secs puisque le transfert de fumée est d'autant plus important que la fumée la plus humide possible arrive sur le produit le plus sec possible
- à un moment dans la semaine où les parois de l'installation atteignent la température la plus élevée, ou encore , pour les mêmes raisons, pendant la période chaude de l'année.

On peut formuler plusieurs recommandations à l'attention du consommateur afin de prévenir la formation de ces composés indésirables.

- *conseils aux consommateurs*

1) Dans le cas de cuisson sèche à température élevée, éliminer de la consommation les parties charbonneuses et présentant une amertume excessive. Ne pas consommer l'exsudat de cuisson de la poêle ou de la lèchefrite.
2) Décourager la consommation de viandes ou de produits à base de viande provenant de la cuisson sèche libérant une fumée excessive et un rejet de jus de cuisson excessif .
3) Pour limiter le temps de cuisson, décongeler la viande au réfrigérateur de quelques dizaines de minutes s'il s'agit de produits de faible épaisseur à 24 heures à l'avance s'il s'agit d'une grosse pièce. S'il s'agit de pièces à griller de type entrecôte de 2 à 3 cm ou de pavés de 4-5cm d'épaisseur, un tempérage de 2 à 4 heures à la température de la pièce sans effet notable sur le statut microbiologique permettra d'avoir la température à cœur recherchée en évitant de prolonger inutilement le temps de chauffage et ses effets négatifs sur la qualité nutritionnelle de la surface.
4) Limiter au maximum la température de cuisson et le temps de séjour au strict minimum nécessaire à la formation des notes aromatiques de grillé et à la prise de coloration de surface

i) assurant dans le cas des pièces musculaires à l'état natif (absence d'attendrissage) la température à cœur associée aux caractéristiques sensorielles recherchées et
ii) assurant de surcroît dans le cas des produits attendris ou hachés un traitement thermique assainissant .

5) Pratiquer chaque fois que cela est possible la remontée en température à cœur du produit (micro-ondes ou pochage à l'eau ou à la vapeur) avant de démarrer la cuisson proprement dite pour limiter le temps de chauffage en chaleur sèche à haute température à la poêle ou au barbecue ou en friture profonde.

6)Conduire la cuisson en ayant le souci de la réduction des hydrocarbures aromatiques poly cycliques indésirables. Au lieu de réaliser à la poêle un unique retournement après 5 minutes pour cuire la deuxième face d'une viande hachée ou d'un hamburger , les retourner toutes les minutes.
7)mobiliser toutes les ressources technologiques du marché facilitant la conduite des cuissons : four préchauffés thermostatés , barbecue électrique avec récupération des exsudats dans ne lèchefrite remplie d'eau pour empêcher leur combustion à flamme vive, cuisson à la broche en mode vertical,avec récupération des exsudats en zone froide sans risque de combustion (döner kebab=la »viande qui tourne »)

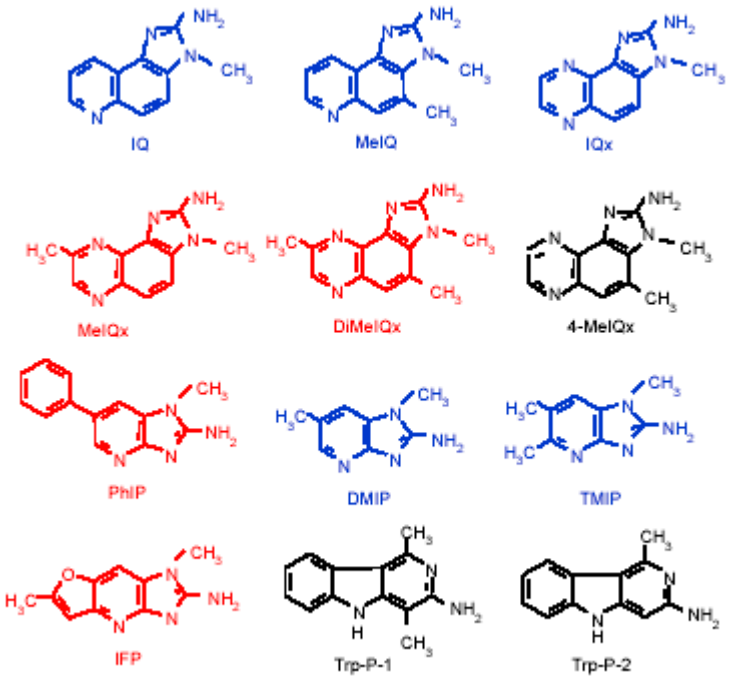
Les amines hétérocycliques aromatiques :
S'agissant d'une famille de composés moins bien connus, l'exposé développe davantage les conditions de leur formation

Identité et mécanismes de formation
Il s'agit de constituants issus des composants naturels des produits à base de viande qui qualitativement et quantitativement dépendent des conditions temps- température de la cuisson (KNIZE et al.,1985 SKOG et al.,1995). Des chauffages prolongés à température élevée favorisent la formation d'amines hétérocycliques aromatiques (HAAs). Les précurseurs de ces molécules sont des acides aminés tels que phénylalanine, thréonine et alanine, de la créatine et

créatinine, des sucres ainsi que les produits de la réaction de Maillard tels que les pyrazines, les pyridines et les aldéhydes (SKOG et al., 1993).
Les amines hétérocycliques se forment lors du chauffage à haute température dans la partie périphérique des viandes lors de cuisson au gril ,en friture, au barbecue à haute température. La cuisson à basse température en conditions humides à l'étuvée ne génère pas d'amines hétérocycliques.
Parmi la quinzaine d'amines hétérocycliques caractérisées (FELTON et al., 2003), trois sont plus couramment rencontrées dans le cas de chauffages intensifs de la viande :

- la MeIQx = 2-amino-3,8-dimethylimidazo(4,5-f) quinoxaline
- la DiMeIQx = 2-amino-3,4,8-trimethylimidazo (4,5-f) quinoxaline
- la PhIP = 2-amino-1-methyl-6-phénylimidazo (4,5-b) pyridine.

La PhIP est le produit de la réaction d'un acide aminé la phénylalanine et de la créatinine. La créatinine est une substance azotée non protéique caractéristique du muscle . Avec la créatine elle sert de marqueur de la qualité des jus de viande et extraits de viande
Quatre autres amines hétérocycliques :IQ,MeIQ,Iqx, DMIP,TMIP sont occasionnellement rencontrées dans les conditions de la préparation culinaire domestique de la viande à haute température



Risques associés à l 'exposition

L'exposition aux amines hétérocycliques aromatiques est reliée à l'ingestion de denrées animales ayant subi un traitement de chauffage à température élevée pour développer des arômes de grillé, de rôti, de rissolé et donc de cuisson sèche.

S'agissant de molécules non volatiles à température ambiante il n' y a pas d'exposition par la voie aérienne sauf à inhaler un air riche en aérosol de particules de HAAs.

Contrairement aux nitrosamines, il n' y a pas de production endogène connue chez l'humain
Contrairement aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, l'exposition de la population française aux amines hétérocycliques aromatiques n'est pas documentée actuellement
Plusieurs amines hétérocycliques aromatiques se sont révélées cancérogènes dans les études animales de longue durée chez les rongeurs et les primates (ADAMSON et al.,1990). L'Agence Internationale de recherche sur le Cancer (IARC,Lyon) a classé plusieurs de ces amines hétérocycliques comme des cancérogènes possibles et a recommandé la réduction de l'exposition à ces substances (IARC, 1993)
Les agents mutagènes de la viande grillée ont d'abord été mis en évidence dès les années 1970 avec un test microbiologique qui a permis de quantifier le nombre de mutations dans le genre *Salmonella* (test de Ames) (SUGIMURA et al., 1977, Origin of Human Cancer , Cold spring harbor, New York, pp. 1561-1577) en fonction des conditions temps-température de chauffage.
Le régime alimentaire a été associé à une prévalence variable du cancer chez les humains depuis de nombreuses années sans que les causes de cette variabilité aient été expliquées rationnellement (WYNDER et al, 1977). Dans la

relation régime alimentaire et cancer , il est admis que les mutations sont à l'origine du processus de cancérisation (VOGELSTEIN, 1992). Les aliments chauffés constituent une source de substances cancérogènes génotoxiques qui sont des candidats probables de ce processus.
Les amines hétérocycliques aromatiques constituent les substances mutagènes parmi les plus puissantes mises en évidence par le test microbiologique dit test de Ames sur *Salmonella*.(WAKABAYASHI et al., 1992). Elles provoquent des tumeurs chez les rongeurs sur plusieurs organes cibles (EL-BAYOUMY et al. ,1995 ;OHGAKI et al.,1991) la plupart étant des cibles classiques de cancérogenèse chez l'humain sur la base du régime alimentaire occidental.
De nombreuses études cas- témoin chez l'humain et des études prospectives complètent les études de cancérisation chez les rongeurs et suggèrent une relation entre la consommation de bœuf, poulet et agneau anormalement chauffé et l'apparition chez l'homme de cancers du colon, du sein, de la prostate et de l'estomac (SINHA et al.,1999, WARD et al.,1997, ZHENG et al., 1998).
COLVIN, HATCH et FELTON, 1998, ont étudié les étapes de la chaîne réactionnelle qui conduit au processus de cancérisation . Elle commence avec la formation des amines hétérocycliques lors de la cuisson à haute température . Après ingestion , les amines sont métabolisées par voie enzymatique. Les métabolites adduits aux nucléotides de l'ADN entraînent des mutations des bases nucléotidiques qui sont à l'origine du cancer.

Réglementation concernant les amines hétérocycliques aromatiques

Il n'existe pas actuellement, en 2006, en France ou en Europe de mesures réglementaires qui portent directement sur les amines hétérocycliques aromatiques.

Conditions de formation des amines hétérocycliques aromatiques
Dans les conditions actuelles, les produits cuits à base de viande français de la charcuterie sont pour la plupart chauffés en conditions humides à basse température. Certains produits par contre ont vocation à être consommés après avoir été chauffés à haute température pour développer des notes aromatiques recherchées. Différents modes de transferts de chaleur peuvent être utilisés.
Les produits peuvent être rôtis (*rayonnement+ convection*), snackés (plaque à snacker) poêlés ou grillés (avec un gril simple ou double face) (*conduction)*, frits en friture profonde (*convection*) ou grillés au gril électrique ou au barbecue (BBQ) (*rayonnement*) : c'est le cas des produits de saucisserie fraîche, des poitrines , des lardons . On observe par ailleurs depuis le milieu des années 1990 un fort développement de produits marqués en surface, prérissolés puis précuits notamment pour la fourniture à la restauration hors foyer RHF par passage en tunnel de braisage infrarouge à radiants électrique ou gaz. Ces produits ou les produits de rôtissage sont de bons candidats pour la surveillance de la formation des amines hétérocycliques aromatiques.
1) effet temps-température
L'impact des conditions de chauffage et notamment du couple temps-température sur la production d'amines hétérocycliques aromatiques est *déterminant* et bien documenté . HWANG et al., (2002) ont pu établir sur des émulsions de viande à respectivement 6 et 19% de lipides placées en tube fermé dans des bains d'huile à différentes températures les cinétiques de formation des amines hétérocycliques .

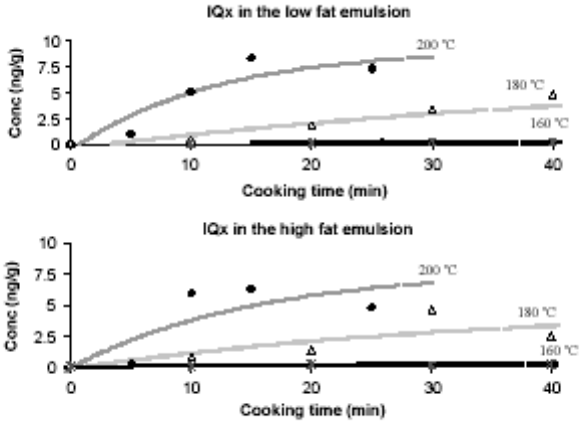


Fig. 2 The formation of IQx in the low and high fat emulsion. The effect of cooking temperature and time on the formation of IQx

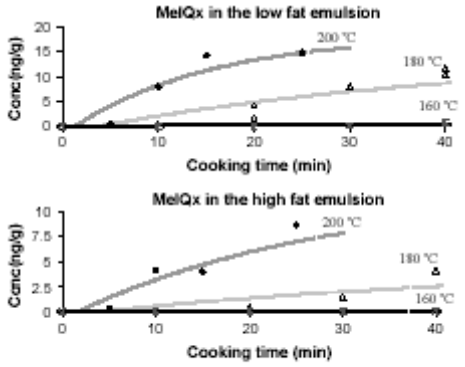


Fig. 3 The formation of MeIQx in the low and high fat emulsion. The effect of cooking temperature and time on the formation of MeIQx

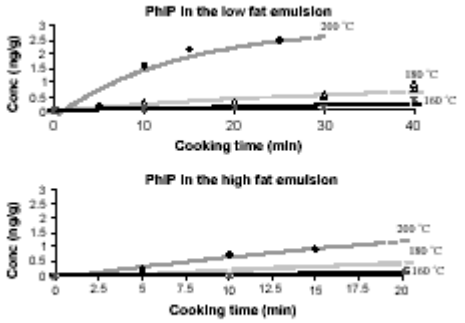


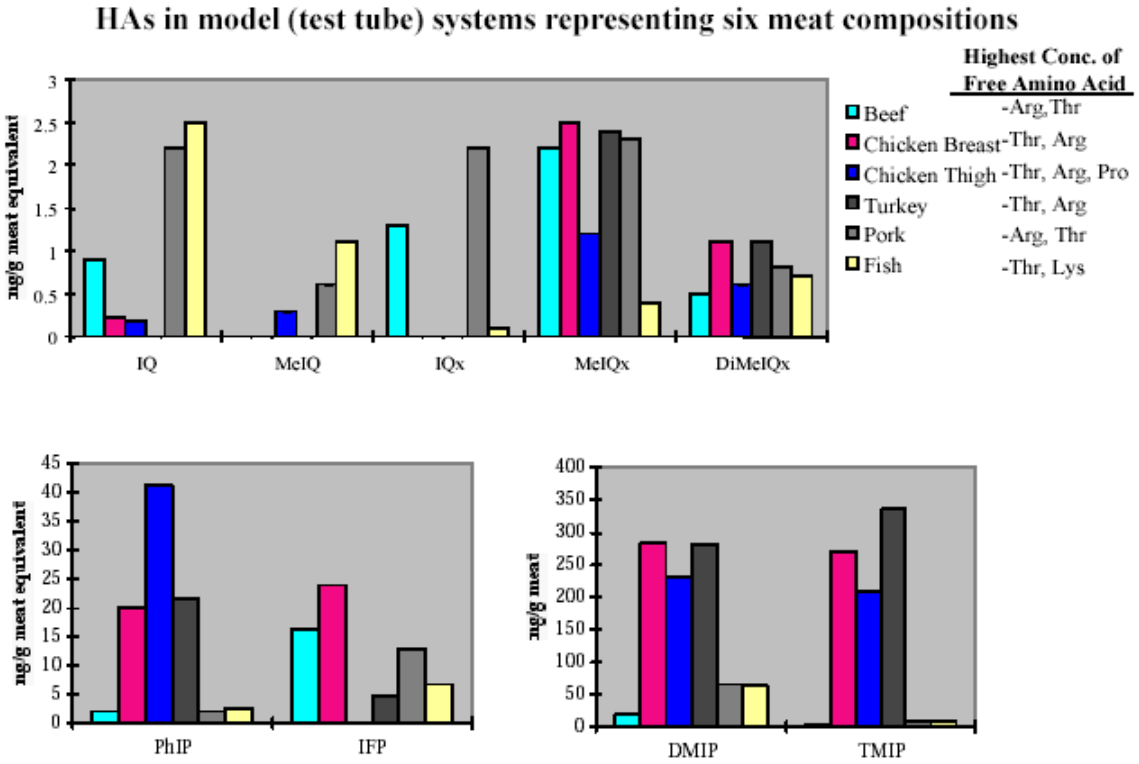
Fig. 4 The formation of PhIP in the low and high fat emulsion. The effect of cooking temperature and time on the formation of PhIP

Paradoxalement pour la PhIP, la formation est moins importante dans la recette plus riche en lipides (19%). L'hypothèse avancée est une moindre disponibilité réactionnelle de la créatinine et de la phénylalanine dans une matrice plus

2) *impact des matières premières*.

- *effet de l' espèce animale*

FELTON et al,2003 ont montré que les muscles blancs et rouges de différentes espèces animales chauffés dans des conditions identiques en tubes fermés affichent une grande disparité de réponses tant qualitatives sur la nature des espèces chimiques formées que quantitatives sur les concentrations respectives observées. Ces différences pourraient être rapprochées de l'aminogramme des acides aminés libres de ces viandes, du fait notamment des différences de cinétiques de maturation enzymatique selon les espèces.



(d'après FELTON, 2003)

- *effet de la maturation enzymatique*

POLAK et al., (2003) ont observé sur le muscle Long dorsal du bœuf le doublement de la concentration en acides aminés libres après 4 semaines de maturation sous vide (19.7 µmol/g à J1 vs 29.9 µmol/g à 2 semaines vs 38,4 µmol/g à 4 semaines). Les entrecôtes de 2,5cm d'épaisseur chauffées sur des plaques téflonées à 220°C présentaient des concentrations de MeIQx de respectivement 0.163 ; 0.167 ; 0.210 ng/g et de PhIP de respectivement 0.046 ; 0.119 et 0.213 ng/g, ce qui montre bien la relation entre la maturation enzymatique des aminopeptidases de la viande et l'augmentation des amines hétérocycliques.

- *effet du génotype*

OLSSON et al., (2004), ont réalisé une enquête avec photographies couleur de côtelettes de porc telles que préparées dans les conditions de la cuisson domestique de la population suédoise (n=151) et montré que la viande de rn+/rn+ chauffée à 200°C (température initiale de la poêle) contenait 20 fois plus de HAAs qu'à 160°C, soit 4.13 ng/g contre 0.18 ng/g.

Ces écarts de HAAs sont à mettre en relation avec la conduite de la cuisson qui se fait au jugé avec une appréciation optimale des consommateurs pour une coloration dorée , plus faible pour les produits bruns ou blancs. *Les viandes de porc hétérozygotes plus riches en glycogène colorent plus rapidement que celle des homozygotes rn+/rn+ d'où un temps de cuisson plus court et donc, comme conséquence favorable, une moindre concentration de HAAs.*

Comme la plupart des consommateurs exprime une préférence pour les homozygotes , il en ressort, sur la base de l'estimation mensuelle de la consommation de côtelettes de porc une exposition par la voie alimentaire de 359 +/-402 ng contre 35+/-60ng chez les consommateurs préféreurs des hétérozygotes. Pour l'ensemble du panel, l'ingestion mensuelle de HAAs mutagènes provenant des côtelettes de porc était en moyenne de 256 ng avec une distribution entre 0 et 1982 ng.

3) effet du mode de chauffage et de la formulation

- *formations de HAAs en système modèle.*

Pour contourner la difficulté des matrices alimentaires vraies due à l'hétérogénéité de leurs caractéristiques de composition , de l'évolution des champs températures comme résultante de la complexité des échanges de masse et de chaleur dans la profondeur et à la surface des produits, les chercheurs ont étudié les conditions de formation des HAAs en systèmes modèles tels que le chauffage à sec des précurseurs (ÖVERVIK et al.,1989), l'ébullition à reflux en solutions aqueuses (JÄGERSTAD et al.,1984) , le chauffage des solutions en tubes métalliques fermés (JACKSON et al.,1985 ; HWANG et al.,2002),ou encore le chauffage en récipients ouverts à l'autoclave de solutions de solutions ternaires en différentes proportions de créatinine, de glycine et de glucose à des températures comprises entre 105 et 135°C (SCHOCH et al., 1999). Les milieux modèles permettent d'observer au moindre coût l'effet des principales variables technologiques sur la formation des différentes espèces chimiques, par exemple la formation accélérée de IQx et MeIQx en fonction des conditions temps –température de chauffage beaucoup plus ralentie de la 7,8,DiMeIQx ou encore des optima de ratio de concentrations molaires glucose/ créatinine à respectivement 1.5 pour IQx, 0.8 pour MeIQx et 0.5 pour la 7.8-DiMeIQx. Mais *ces milieux modèles offrent fréquemment des conditions plus réactionnelles que les vrais produits ou sont étudiés avec des concentrations différentes de celles des vrais produits.* Pourquoi des essais à la concentration de 14 millimolaires de créatinine si la concentration du vrai produit est inférieure à 0.006% soit inférieure d'au moins trois fois à la précédente ?

- *impact du matériel de chauffage et du mode de transfert de la chaleur.*

GIBIS et al., (2000) compare quatre modes de chauffage (four à convection, friture profonde,gril double face, gril simple face) qui permettent tous d'atteindre 75, 85 et 95°C à cœur. Les cuissons en friture profonde et au four à convection donnent les productions de HAAs les plus faibles suivies par la cuisson double face avec la moins bonne performance pour le gril simple face. L'explication est que la *cuisson au gril simple face (ou à la poële) permet la libération des jus à la face supérieure du hamburger ce qui facilite leur conversion en HAAs une fois le produit retourné pour assurer la cuisson de deuxième face .*

GIBIS et al., (2002) a comparé l'impact du matériau de deux grils double face préchauffés et réglés à 230°C, soit respectivement avec des plaques de fonte ou composite aluminium revêtu d'acier inoxydable, sur la formation de HAAs dans des hamburgers, soit respectivement 4 minutes et 2 minutes 10 secondes pour atteindre 75°C à cœur. *On observe pour le composite une réduction de près de 60% de MeIQx, 4,8-DiMeIQx et PhIP qui s'explique sans doute à la fois par un temps de chauffage plus court et une moindre disponibilité en surface des jus de cuisson du fait de la coagulation plus rapide des protéines*. Le comportement moins *radiatif* du matériau composite -et par conséquent plus *réflectif- facilite le transfert de chaleur vers le hamburger, accélère du fait de la coagulation la fermeture des pores à la surface, empêche l'écoulement du jus, limite les pertes à la cuisson et réduit la quantité de HAAs formée.*

- *impact de la formulation*

SCHOCH et al.1988 ont montré le rôle des substances réductrices contenant des groupes sulfhydriles telles que le glutathion, la L-cystéine, ou la N-acétylcystéine comme inhibiteurs de la formation des HAAs en milieu modèle et l'ont confirmé sur des vrais produits

De très nombreux autres travaux ont exploré l'effet :

- de différents épices et aromates : ail, oignon, origan, poivre, thym et mélange d'épices (curry) uniformément formulés à 0.2 ; 1,1 et 2% sur la formation de HAAs (GIBIS et al.1999). L'oignon formulé à 2% donne la meilleure réponse nutritionnelle attribuée à ses groupements sulfhydriles et confirme ainsi le bénéfice santé de cette recette qui est aussi en phase avec les usages culinaires avec une excellente acceptabilité à ce niveau de formulation.
- des préparations commerciales riches en carnosol/acide carnosolique avec une réduction de 64% de la PhIP pour la formulation la plus favorable-(GIBIS et al.,2004)
- d'enrobages sur base de carraghénanes ou de « marinades de surface » pour créer un effet de barrière (SCHOCH et al.,2001 ; GIBIS et al.,2001)

Mesures préventives par rapport au danger amines hétérocycliques aromatiques
Les connaissances disponibles débouchent sur plusieurs recommandations pratiques pour l'optimisation des différentes méthodes de chauffage des viandes et produits à base de viande qui recherchent via la cuisson sèche des notes sensorielles de cuisson orientées vers le rôti, le grillé, le rissolé, le frit:
Pour le professionnel :
- définir pour chaque type de produit : **caractéristiques dimensionnelles et de structure** telles que résultant de la *formulation* (% lipides,…. nature du mix,) du *mode de fabrication* (enrobage, marinage,.. hachage, formage,…) et du *mode de préparation* notamment des températures et durées de chauffage. Plafonner le barême de chauffage au strict minimum nécessaire pour obtenir les caractères sensorielles recherchées notamment en surface et pour garantir à cœur un effet assainissant assurant à la fois la sécurité et les objectifs de durée de vie commerciale au plan microbiologique .
-garantir le respect de ces consignes par l'instrumentation de la fonction contrôle commande et les enregistrements relatifs à la fois aux spécifications du produit et au process de chauffage.
-Définir les dates limites d'utilisation des matières premières carnées (éviter des maturations enzymatiques poussées pour limiter la formation des précurseurs (acides aminés libres,…).
Vérifier la composition des mélanges technologiques (mix) , notamment les teneurs en créatinine +créatine (provenant des extraits de viande) et acides aminés libres des hydrolysats de protéines. La créatine n'est pas directement impliquée, mais fonctionne comme réservoir et précurseur de la créatinine qui elle est réactionnelle.
Mobiliser les ingrédients de la recette ayant un effet reconnu d' inhibiteur de la formation d'amines hétérocycliques aromatiques : certains antioxygènes à certaines doses, oignons,….
Mobiliser les technologies qui limitent la migration en surface des jus de viandes via la formulation du produit et un mode de chauffage qui saisisse la viande, la géométrie du matériel de chauffage
Fournir à l'utilisateur (RHF ou consommateur final ou PAI pour industrie de deuxième transformation) des recommandations pour la préparation et la cuisson

Pour le consommateur :
1) Encourager la consommation de produits précuits sous vide d'air,
2) Dans le cas de cuisson sèche à température élevée, éliminer de la consommation les parties charbonneuses et présentant une amertume excessive . Il est conseillé de ne pas consommer l'exsudat de cuisson de la poele ou de la lèchefrite. Rien ne s'oppose par contre à la consommation du jus de viande présent à cœur de la pièce musculaire ou du produit à base de viande.
3)Pour limiter le temps de cuisson , décongeler la viande de quelques dizaine de minutes à 24 heures en fonction de la taille de la pièce et de la technique utilisée. S'il s'agit de pièces à griller de type entrecôte de 2 à 3 cm ou de pavés de 4-5cm d'épaisseur , un tempérage de 2 à 4 heures à la température de la pièce sans effet notable sur le statut microbiologique permettra d'avoir la température à cœur recherchée en évitant de prolonger inutilement le temps de chauffage et ses effets négatifs sur la qualité nutritionnelle de la surface.
4)Limiter au maximum la température de cuisson et le temps de séjour au strict minimum nécessaire à la formation des notes aromatiques de grillé et à la prise de coloration de surface
i) assurant dans le cas des pièces musculaires à l'état natif (absence d'attendrissage) à température à cœur associée aux caractéristiques sensorielles recherchées et
ii) assurant de surcroît dans le cas des produits attendris ou hachés un traitement thermique assainissant
5)Pratiquer chaque fois que cela est possible la remontée en température à cœur du produit (micro-ondes ou pochage à l'eau ou à la vapeur) avant de démarrer la cuisson proprement dite pour limiter le temps de chauffage en chaleur sèche à haute température à la poêle ou au barbecue ou en friture profonde.
6)Conduire la cuisson en ayant le souci de la réduction des amines hétérocycliques indésirables. Au lieu de réaliser à la poêle un unique retournement après 5 minutes pour cuire la deuxième face d'une viande hachée ou d'un hamburger, les **retourner toutes les minutes.**

Principes pour l'évaluation des données analytiques.
Pour beaucoup de contaminants dont les composés néoformés non voulus, les concentrations trouvées peuvent varier dans des proportions considérables . Malgré le développement de méthodes analytiques qui abaissent chaque jour les seuils de détection (SD)et de quantification (SQ), on constate de plus en plus souvent des résultats inférieurs à ces deux seuils parfois plus de 50%.Et pourtant il faut pouvoir quantifier ces données d'une certaine manière en particulier si n veut définir des limites réglementaires telles que les LMR(limites maximales résiduelles), des valeurs de « toxicité journalières ». HONIKEL(1999) a calculé l'impact des options de traitement de l'information selon que l'on traduit < SD/SQ à valeur zéro, demie ou pleine en fonction du pourcentage de résultats disponibles inférieurs à ces seuils. Dans une étude collaborative de 40 laboratoires dont les SD variaient dans un rapport de 1à 50 et en prenant comme référence de quantification la valeur moyenne pour le congénère PCB-28 et avec un pourcentage de 91% de 1145 résultats <SD , les valeurs publiées peuvent varier considérablement : 17µg/kg de lipides selon le rapport général, mais selon les données d'un laboratoire qui avait 30% de résultats <SD à 1µg/kg avec des valeurs comprises entre 0.5 et 1.8 µg/kg PCB -28 selon les trois options possibles.

Compte-tenu des disparités importantes de contaminants et résidus à faible concentration HECHT et HONIKEL (1995) suggèrent de présenter les données selon une représentation concentration/fréquence log-normale pour retrouver une distribution de forme gaussienne. Les mêmes auteurs , cités par HONIKEL,1999, proposent une estimation de la médiane et des 25 et 75 percentiles à partir du nombre de la proportion de résultats en dessous des SD et SQ. Dans le cadre de l'évaluation des données françaises relatives aux teneurs en benzo-a-pyrene l'option a été de prendre comme référence la moitié de la limite de quantification pour les échantillons négatifs.

Conclusion

La réglementation communautaire rend obligatoire la démarche préventive qui est dans l'intérêt bien compris des professionnels qui veulent assurer la croissance de leurs débouchés vers le marché et les consommateurs. Même si le processus d'évaluation reste globalement incomplet sauf dans le domaine des hydrocarbures polycycliques aromatiques, les développements technologiques récents qui combinent des conditions minimales de durée-température de traitement de surface assurant les fonctions de coloration et d'aromatisation et de cuisson à cœur à basse température sont bien dans l'objectif de sécurité alimentaire au sens du règlement (CE) N°178/2002. D'une manière générale les recommandations relatives à la prévention de la formation de composés néoformés non voulus sont pris en compte par les professionnels français.

Références bibliographiques

Les références bibliographiques ne sont pas citées ici faute de place. Elles peuvent être demandées à l'auteur à : jean-luc.vendeuvre@ifip.asso.fr

Remerciements

L'auteur exprime ses remerciements à la Fédération française des industriels charcutiers et transformateurs de viandes (FICT) pour la stimulation constante d'une veille scientifique permanente pour la prévention par la technologie de dangers possibles impliquant la sécurité des denrées et la santé du consommateur

Références

Article 14 du règlement (CE)N°178/2002 dit « Food law »
-Prescriptions relatives à la sécurité des denrées alimentaires
1. Aucune denrée alimentaire n'est mise sur le marché si elle est dangereuse.
2. Une denrée alimentaire est dite dangereuse si elle est considérée comme:
a) préjudiciable à la santé;
b) impropre à la consommation humaine.
3. Pour déterminer si une denrée alimentaire est dangereuse, il est tenu compte:
a) des conditions d'utilisation normales de la denrée alimentaire par le consommateur à chaque étape de la production, du traitement et de la distribution; et
b) de l'information fournie au consommateur, y compris des informations figurant sur l'étiquette, ou d'autres informations généralement à la disposition du consommateur,
concernant la prévention d'effets préjudiciables à la santé propres à une denrée alimentaire particulière ou à une catégorie particulière de denrées alimentaires.
4. Pour déterminer si une denrée alimentaire est préjudiciable à la santé, il est tenu compte:
a) de l'effet probable immédiat et/ou à court terme et/ou à long terme de cette denrée alimentaire sur la santé non seulement d'une personne qui la consomme, mais aussi sur
sa descendance;
b) des effets toxiques cumulatifs probables;
c) des sensibilités sanitaires particulières d'une catégorie spécifique de consommateurs lorsque la denrée alimentaire lui est destinée.
5. Pour déterminer si une denrée alimentaire est impropre à la consommation humaine, il est tenu compte de la question de savoir si cette denrée alimentaire est inacceptable pour la
consommation humaine compte tenu de l'utilisation prévue, pour des raisons de contamination, d'origine externe ou autre, ou par putréfaction, détérioration ou décomposition.
»

Annexe 1 : Exigences de sécurité pour les denrées alimentaires selon Food Law (178/2002)

Évaluation des risques *- processus à base scientifique comprenant les étapes suivantes: (i) identification des dangers, (ii) caractérisation des dangers, (iii) évaluation de l'exposition et (iv) caractérisation des risques*
Évaluation qualitative des risques *- évaluation des risques basée sur des données qui, tout en constituant une base inadéquate pour des estimations numériques de risques, permet toutefois, lorsqu'elle est déterminée par une expertise antérieure et l'identification des incertitudes concomitantes, le classement des risques ou leur répartition en diverses catégories descriptives des risques.*
Évaluation quantitative des risques *- évaluation des risques exprimée numériquement et indication des incertitudes concomitantes (selon la définition de la consultation d'experts de 1995 sur l'analyse des risques*

Danger *- agent biologique, chimique ou physique présent dans un aliment ou état de cet aliment pouvant avoir un effet adverse sur la santé.*
Identification des dangers *- identification des agents biologiques, chimiques et physiques susceptibles de provoquer des effets adverses pour la santé et qui peuvent être présents dans un aliment donné ou un groupe d'aliments.*
Caractérisation des dangers *- évaluation qualitative et/ou quantitative de la nature des effets adverses pour la santé associés au danger.*
Évaluation de l'exposition *- évaluation qualitative et/ou quantitative de l'ingestion probable d'agents biologiques, chimiques et physiques par le biais des aliments, ainsi que par suite de l'exposition à d'autres sources, le cas échéant*
Évaluation de la relation dose-réponse *- détermination de la relation existant entre l'ampleur de l'exposition (dose) à un agent chimique, biologique ou physique et la gravité et/ou la fréquence des effets néfastes sur la santé qui leur sont associés (réponse).*
.
Risque *- fonction de la probabilité d'un effet adverse pour la santé et de sa gravité, du fait de la présence d'un ou de plusieurs dangers dans un aliment.*

Annexe 2 – L'appréciation ou l'évaluation scientifique des risques selon le *Codex alimentarius* (1999)

N°1- cancérogène chez l'humain – si preuve (« *evidence*) suffisante chez l'homme ou à la fois suffisante en expérimentale animale et « indication « forte chez l'humain.
N°2A- cancérogène *probable* chez l'humain, si indication limitée chez l'humain et preuve suffisante en expérimentation animale.
N°2B- cancérogène *possible* si indication limitée chez l'humain et preuve insuffisante en expérimentation animale OU indication non valide chez l'humain , preuve suffisante en expérimentation animale et crédibilité de données mécanistes ou autres données pertinentes.
N°3- cancérogénicité non classable si indication non valide chez l'humain et indication non valide ou limitée en expérimentation animale
N°4 – probablement non cancérogène.

Annexe 3- Catégorisation de substances chimiques par le centre international de recherche sur le cancer (CIRC-IARC, Lyon, France, Préambule révisé en janvier 2006)

SESSION 2

Valeur nutritionnelle et valeur santé des viandes et des produits carnés

Animateurs : Jacques Mourot (Inra-Rennes)
et Jean-Luc Vendeuvre (Ifip)

Communications orales

EFFET DE LA CONSERVATION DE LA VIANDE BOVINE SUR LES PROCESSUS DE PEROXYDATIONS LIPIDIQUE ET PROTEIQUE

DURAND D.[1], SAVARY-AUZELOUX I.[1], ORTIGUES-MARTY I.[1], THOMAS E.[2], SCISLOWSKI V.[2], PEYRON A.[2], BAUCHART D.[1]

[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Centre de Clermont-Ferrand-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle ; [2]ADIV, 63039, Clermont-Ferrand.

Introduction

Les changements des modes de distribution et des habitudes d'achat des consommateurs ont entraîné ces dernières années le développement et la généralisation de nouvelles pratiques dans la filière viande. Le coût important de stockage des carcasses a entraîné le développement de la ***maturation sous vide*** au détriment de la ***maturation en carcasse***. Par ailleurs, le développement des viandes fraîches préparées en centrales et prêtes à être disposées en linéaire s'est accéléré au cours des dernières années. Ces changements impliquent également l'allongement de la ***date limite de conservation*** (DLC) des viandes, ce qui explique le développement de la conservation sous ***atmosphère modifiée.*** Parallèlement à ce concept, la conservation des viandes par ***congélation*** permet également de prolonger la durée de vie des produits sans en modifier notablement les caractéristiques sensorielles. Cependant, ces nouvelles pratiques parfaitement maîtrisées d'un point de vue technologique n'ont été que très rarement évaluées sous l'angle de leur impact sur les qualités nutritionnelles des produits, en particulier sur le développement des ***processus de peroxydation***. La peroxydation des acides gras, lorsque son intensité est élevée devient une des causes majeures de la détérioration de la qualité des produits carnés crus ou cuits (rancissement, perte de couleur…) pendant leur stockage à l'état réfrigéré ou congelé (Gandemer et al., 1999). Les protéines, comme les lipides, sont sensibles aux attaques radicalaires. Ces attaques se traduisent par la formation, sur les protéines, de nouveaux groupes fonctionnels (hydroxyles et carbonyles). Ces altérations peuvent, à terme, diminuer les qualités organoleptiques des viandes (Rowe et coll, 2004).

Dans ce contexte, nous avons mis en place une étude visant à mesurer l'impact 1) de différents modes de maturation et leur durée d'application, 2) de différents modes de conservation 3) de différentes durées de congélation sur les paramètres indicateurs de peroxydation des lipides et des protéines et de réserve en antioxydants lipophiles dans deux types de viande (grasse ou maigre).

Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée sur des viandes issues de 12 vaches de race charolaise réparties en 3 séries d'abattage. Le lendemain de l'abattage, les carcasses d'une première série de 4 vaches ont été découpées et mises à maturer sous vide pendant 2 ou 10 jours, les carcasses d'une deuxième série de 4 vaches ont été mises à maturer 2 ou 5 jours par demi carcasse entière. A la suite de ces maturations (sous vide ou en carcasse), un muscle gras (entrecôte) et un muscle maigre (cœur de rumsteck) ont été conditionnées et conservées 5 jours sous film étirable (SF) ou 11 jours sous atmosphère modifiée (70% O_2 et 30% CO_2) (SAM). En fin de période de conservation, les viandes ont été broyées en présence d'azote liquide et conservés à – 20°C jusqu'aux analyses. Enfin, à partir d'une troisième série d'abattage de 4 vaches, les carcasses ont été maturées après découpe pendant 10 jours sous vide, les viandes étant ensuite immédiatement conditionnées puis conservés congelées à -20°C pendant 30, 135 ou 270 jours. En fin de période de congélation, ces viandes ont été traitées comme celles des séries 1 et 2. La concentration en vitamine E a été déterminée par chromatographie liquide haute pression, celles en malondialdéhyde (MDA) par HPLC et celle en carbonyles par méthode spectrophotométrique.

Les analyses statistiques ont été réalisées selon la procédure de Mesures Répétées des modèles linéaires de SAS (SAS Institute Inc., 1990), les effets étant déclarés significatifs au seuil de 5%.

Résultats - Discussion

La teneur en vitamine E est voisine de 6,5-7µg/g de tissu dans l'entrecôte et le rumsteck. Cette valeur est très supérieure à celle habituellement rapportée chez le bovin et correspondrait à des valeurs rencontrées chez des bovins nourris à l'herbe jeune (Durand et al., 2005). La teneur en MDA est voisine de 0,17 µg/g de tissu soit une teneur proche de 0,5 µg/g de tissu en équivalent MDA (mesurée par le test TBARS) comme habituellement rapporté dans la bibliographie. Le taux de carbonyls, voisin de 150 nmol/g de tissu est proche de ceux rapportées par d'autres auteurs (Rowe et al., 2004).

La ***maturation en carcasse*** (2 ou 5 j) ou ***sous film*** (2 ou 10 j) n'entraîne pas d'augmentation significative des processus de peroxydation des lipides ou des protéines et ceci quelque soit le type de viande (grasse ou maigre). Ces résultats sont en accord avec ceux de la bibliographie, ces processus étant par ailleurs plus fortement inhibés dans notre étude par les teneurs très élevées en vitamine E des viandes étudiées.

Teneur en lipides	Gras			Maigre				Probabilités		
Conditionnement	**T**	**SF**	**SAM**	**T**	**SF**	**SAM**	**SEM**	**condit.**	**muscle**	**interaction**
Vitamine E (µg/ g tissu frais)	6,43	6,19	5,57	7,09	5,96	3,35	*0,34*	**0,019**	**0,044**	**0,022**
MDA (µg/ g tissu frais)	0,17	1,22	1,38	0,17	1,25	4,22	*0,46*	**0,035**	0,165	0,077
Carbonyles (nmol/ g tissu frais)	142,0	149,8	203,1	155,8	161,2	290,6	*19,7*	**0,01**	0,09	0,17

Tableau 1 : Influence du type de conditionnement (témoin, T ; Sous Film, SF et Sous Atmosphère Modifiée, SAM) sur laes teneurs en vitamine E, MDA et carbonyles d'une viande grasse (entrecôte) et d'une viande maigre (cœur de rumsteck) après maturation sous vide de 10 jours.

Les effets du ***mode de conditionnement*** varient selon que les viandes sont conditionnées après une maturation en carcasse ou après une maturation sous vide. Après un conditionnement de 5j SF ou de 11j SAM les processus de peroxydation des lipides et des protéines n'ont pas été augmentées. Par contre, après une maturation sous vide de 10 jours, on observe une forte augmentation des peroxydations lipidique (x7 à x25) et protéique (+6 à +90%) au cours de la conservation avec diminution significative des réserves en antioxydants lipophiles (-4 à -53%), en particulier avec la viande maigre et concernant plus spécifiquement la conservation SAM (Tableau 1). Les teneurs en MDA, supérieures à 4µg/g dépassent les teneurs d'acceptabilité déterminées par tests organoleptiques rapportées par Campo et al. (2006). Il est possible que la maturation sous vide pendant 10j favorise la lipolyse augmentant ainsi la sensibilité à la peroxydation des acides gras libérés comme l'a déjà rapporté Gandemer (1999).

	Durée de congélation à -20°C (en jours)									
	30		135		270			Probabilités		
Teneur en lipides	**Gras**	**Maigre**	**Gras**	**Maigre**	**Gras**	**Maigre**	**SEM**	**condit.**	**muscle**	**interact.**
Vitamine E (µg/ g tissu frais)	6,39	6,38	6,45	6,38	8,66	7,05	*0,88*	0,241	0,479	0,494
MDA (µg/ g tissu frais)	0,23	0,32	0,18	0,19	0,35	0,24	*0,06*	0,313	0,989	0,164
Carbonyles (nmol/ g tissu frais)	185,8	201,7	170,5	186,2	213,0	290,3	*10,3*	**0,01**	**0,04**	0,24

Tableau 2 **:** Influence de la durée de conservation à -20°C (30, 135 ou 270 jours) de la viande sur les teneurs en vitamine E, en MDA et en carbonyles d'une viande grasse (entrecôte) et d'une viande maigre (cœur de rumsteck).

La ***durée de conservation*** à l'état congelé ne semble pas augmenter significativement les processus de peroxydation lipidique ni affecter les réserves en vitamine E. Par contre nous avons observé une augmentation significative de la peroxydation protéique (+15 à +44% entre 30 et 270j) pour les muscles gras et maigre respectivement (Tableau 2), ces phénomènes d'apparition de carbonyles au cours d'une congélation trop prolongée ayant déjà été rapportés précédemment (Martinaud et al., 1997).

Conclusion

Une maturation de 5j en carcasse ou de 10 jours sous vide n'a pas d'influence sur les processus de peroxydation. Par contre, la maturation sous vide « prédispose » les viandes aux peroxydations en particulier lors d'une conservation de 11j SAM et ceci plus spécifiquement à partir de viandes maigres. La conservation à -20°C n'exerce des effets délétères marquées que sur la peroxydation des protéines, les lipides semblant bien protégés dans les viandes de notre étude dont le taux de vitamine E est particulièrement élevé.

Références bibliographiques

Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I. 2006. Meat Science ,72 : 303-311.
Durand D., Scislowski V., Chilliard Y., Gruffat D and Bauchart D. 2005. In "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Academic Publishers, 137-150.
Gandemer G. 1999. Science des Aliments ,19 : 439-458
Martinaud, A., Mercier, Y., Marinova, P., Tassy, C., Gatellier, P. , Renerre, M. 1997. J. Agric. Food Chem., 45 : 2481-2487.
Rowe L.J.; Maddocks, K.R.; Lonergan, S.M.; Huff-Lonergan, E. 2004. . J. Anim. Sci. 82 : 785-793.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de INTERBEV/OFIVAL (Contrat MCQN - 2005).
Les auteurs remercient le personnel technique de NEM/URH, de l'ADIV et de l'Atelier d'Analyse Nutritionnelle des Viandes pour leur participation à la préparation et à l'analyse des échantillons.

EFFET DES ANTIOXYDANTS VEGETAUX SUR LA PEROXYDATION LIPIDIQUE DE BŒUF HACHE AU COURS DE LA CONSERVATION

THOMAS E. [1],SCISLOWSKI V. [1],RENERRE M.[2], GATELLIER P. [2], GLADINE C[3], SAVARY-AUZELOUX[3] I., BAUCHART D. [3], DURAND D[3],

[1]ADIV, 63039, Clermont-Ferrand, [2]Unité QuaPA, [3]Unité de Recherche sur les Herbivores, Centre de Clermont-Ferrand-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle ;

Introduction

Avec 25000 tonnes par an, le steak haché représente près de 20% de la production de viande bovine en France. C'est un produit couramment consommé par toutes les classes d'âges. Afin de conserver ce niveau de consommation, les industriels se doivent de garantir la maîtrise et la conservation de ses qualités nutritionnelles au cours du stockage. En effet, son taux de matière grasse compris en moyenne entre 12 et 15% le rend sensible aux phénomènes de peroxydation, cause courante de détérioration des aliments par l'oxygène (Pelli et Lyly, 2003). Cette réaction peut rapidement conduire au développement de flaveurs rances pendant le stockage des viandes mais aussi diminuer leur valeur santé en générant des radicaux libres et en dégradant les acides gras polyinsaturés.

Dans ce contexte, nous avons mis en place une étude visant à mesurer l'effet de la nature et de la dose de différents antioxydants végétaux sur la peroxydation lipidique de viandes hachées de bœuf au cours du stockage ou de la cuisson. L'incorporation d'extraits naturels est en effet une alternative intéressante aux antioxydants de synthèse aujourd'hui mal perçus par les consommateurs.

Matériel et méthodes

La première étude a consisté à mesurer l'effet de 7 extraits végétaux (EV) sur l'intensité de peroxydation de steaks hachés de bœuf à 15% de matière grasse. Les extraits testés (romarin en poudre ou liquide, hydro ou liposolubles ; pépins de raisin en poudre, oignon en poudre) ont été incorporés avant formage aux doses préconisées par le fabricant (0,4 à 1,5 g/kg de viande). Les steaks étaient ensuite conservés soit : 1) 7 jours sous film étirable à 4°C éclairés 16h/24h (SF), 2) 9 jours sous atmosphère modifiée (70%O_2/30% CO_2) à 4°C éclairés 16h/24h (SA), ou 3) 45 jours à l'état congelé (C). Le niveau de peroxydation des lipides était évalué par dosage des SR-TBA (Lynch et Frei, 1993 adaptée par Mercier et al., 1998) avant et après cuisson des steaks par rapport à un steak témoin non supplémenté (T).

La seconde étude qui portait sur 3 extraits de romarin (liposolubles en poudre EV9 ou liquide EV11 ou hydrosoluble en poudre EV3) a consisté à faire varier la dose d'incorporation et le taux de matière grasse des steaks (5,15 et 20%) selon un plan expérimental en bloc incomplet. Les teneurs en substances actives ont été calculées pour chaque extrait et 3 doses d'incorporation ont donc été définies : 24, 60 et 120 ppm. Une de ces trois doses correspondait à la dose de référence (DR) utilisée dans la première étude : EV3) DR=0,4g/kg soit 24ppm, EV9 et EV11) DR=1,5 g/kg soit 60ppm. Pour chaque extrait, l'effet des couples dose incorporée / taux de matière grasse a été comparé à un témoin sans extrait lors d'une conservation sous atmosphère modifiée (70%O2, 30% CO2) de 6 jours.

Le traitement statistique par analyse de variance (ANOVA) a été réalisé à l'aide du logiciel STATVIEW, les effets ont été déclarés significatifs au seuil de 5%.

Résultats - Discussion

Dans le cadre de la première étape, l'ajout d'antioxydants dans la formulation des steaks protège significativement (*P<0,0001*) les lipides des phénomènes de peroxydation par rapport aux témoins avec une inhibition moyenne de 25% après 7 jours de **conservation SF** (à 7 jours, T=1,55mg/kg *vs* EV=1,16mg/kg) et de 62% après 9 jours de **conservation SA** (à 9 jours, T=2,15mg/kg *vs* EV=0,81mg/kg), (Fig. 1 et 2). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Sanchez et al. (2001), Ahn et al. (2002) et Djenane et al. (2003). Après **45 jours de congélation (C**), les valeurs de SR-TBA sont moins élevées qu'après 9 jours SA (<2 mg/kg), cependant l'inhibition de la peroxydation par rapport au témoin (43 à 57%) reste significative (*P<0,0001*)(Cf. fig 3). Selon les travaux réalisés par Mielnik et ses collaborateurs (2003), les dommages peroxydatifs n'interviendraient qu'au delà de 2 mois de stockage à l'état congelé et l'utilisation d'extraits antioxydants présenterait un intérêt pour des durées de congélation supérieures à 4,5 mois.

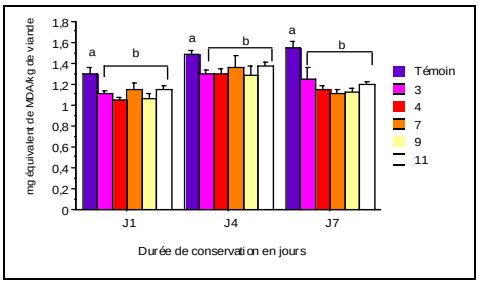


Figure 1 : effet des extraits sur la peroxydation lipidique des steaks hachés au cours d'une conservation sous film

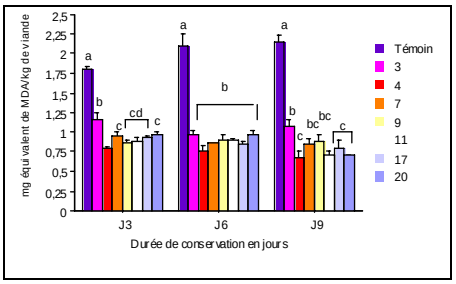


Figure 2 : effet des extraits sur la peroxydation lipidique des steaks hachés au cours d'une conservation sous atmosphère modifiée

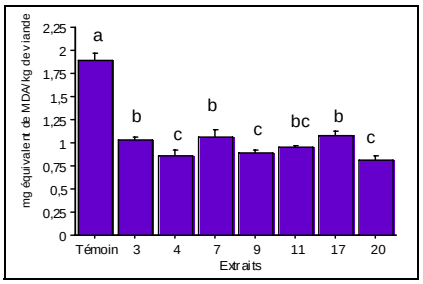


Figure 3 : effet des extraits sur la peroxydation lipidique des steaks hachés après un stockage par congélation de 45 jours

Les bénéfices des extraits obtenus lors de la conservation sont également maintenus après la cuisson puisque l'inhibition de la peroxydation lipidique par les extraits antioxydants est significative (*P<0.0001*) et s'élève à 53% (*vs* 58% avant cuisson). (Cf. fig. 4). Karpinska et ses collaborateurs (2001) ont également montré un effet bénéfique des extraits antioxydants dans le cadre de produits carnés cuits conservés 4 jours.

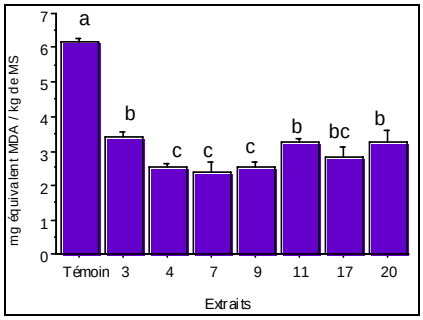


Figure 4 : effet des extraits sur la peroxydation lipidique des steaks hachés après cuisson

Dans le cadre de la seconde étude, la teneur en SR-TBA du témoin sans antioxydant augmente considérablement après 6 jours de conservation (+137% en moyenne) alors qu'elle reste stable au cours du temps pour l'ensemble des extraits testés. L'inhibition de la peroxydation lipidique s'élève ainsi à 59% en moyenne pour **EV3** (*P=0,001*), 56% pour **EV9** (*P=0,002*) et à 60% pour **EV11** (*P=0,0003*) confirmant ainsi les résultats obtenus dans la première étude. Cependant, ***le couple [dose / % MG]*** testé pour chaque extrait ne semble pas agir sur leur efficacité. En effet, quels que soient la dose ou bien le taux de matière grasse mis en œuvre, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence (exemple pour EV9, fig5). Il serait donc intéressant de diminuer encore les doses d'extraits antioxydants incorporés pour déterminer la valeur minimale d'efficacité antioxydante de chaque extrait.

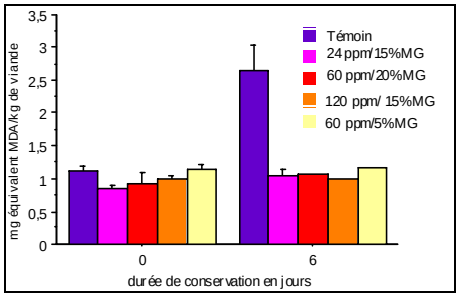


Figure 5 : Effet du couple [dose/%MG] de l'extrait N°9 sur la peroxydation lipidique des steaks hachés au cours de la conservation sous atmosphère modifiée.

Conclusion

L'incorporation d'extraits végétaux riches en antioxydants dans des steaks hachés de bœuf destinés à être conservés sous film ou sous atmosphère modifiée permet d'inhiber les processus de peroxydation des lipides au cours de la conservation et donc probablement maintiennent la valeur nutritionnelle et santé (teneur en AGPI, réduction des dérivés peroxydés nocifs) du produit. Dans le cas d'une conservation en congélation, la supplémentation en extraits végétaux ne présenterait un intérêt que lorsque la durée de stockage dépasse 4,5 mois. Par ailleurs, le niveau d'inhibition de peroxydation lipidique étant identique quel que soit le couple [dose / taux de matière grasse] étudié dans nos conditions, cela suggère qu'il n'est pas nécessaire de surdoser les steaks riches en lipides en extraits antioxydants pour avoir des effets significatifs. Au vue des résultats, une diminution des doses peut être envisageable, cependant, se pose ensuite un problème de mauvaise dispersion des extraits dans le produit.

Références bibliographiques

Ahn, J., Grun, I.U., Fernando, L.N., (2002). Food Chemistry and Toxicology, 67, 1364-1369.
Djenane,D., Sanchez-Escalante, A., Beltran, J.A., Roncalès, P. (2002). Meat Science, 64, 417-426.
Karpinska M., Borowski J., Danowska-Oziewicz M. (2001). Food Chemistry 72, 5-9
Lynch S.M, Frey B., (1993). J.Lipid Res. 34, 1745-1751
Mercier, Y., Gatellier, P., Viau, M., Remignon, H., Renerre, M. (1998). Meat Science, 48, 301-318.
Mielnik M.B., Aaby K., Skrede G. (2003). Meat Science 65, 1147-1155
Pelli K., Lyly M., Les antioxydants dans l'alimentation, (2003), National Network leader, projet n°QLK1-CT-2000-000040, consommateur n°3, Flair Flow
Sanchez-esacalante, A., Djenane, D., Torrescano, G., Beltran, J.A., Roncalès, P. (2001). Meat Science, 58, 421-429.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de INTERBEV/OFIVAL.
Les auteurs remercient le personnel technique de NEM/URH, de l'unité QuaPA, de l'ADIV et de l'Atelier d'Analyses Nutritionnelles des Viandes pour leur participation à la préparation et à l'analyse des échantillons. Ils remercient également les fournisseurs d'antioxydants pour avoir accepté de participer à cette étude.

LES VALEURS NUTRITIONNELLES DE LA VIANDE DE PORC : ANALYSES SUR 9 PIECES UVC

VAUTIER A.
IFIP – antenne Ouest – La Motte au Vicomte – BP 35104 – 35651 Le Rheu cedex

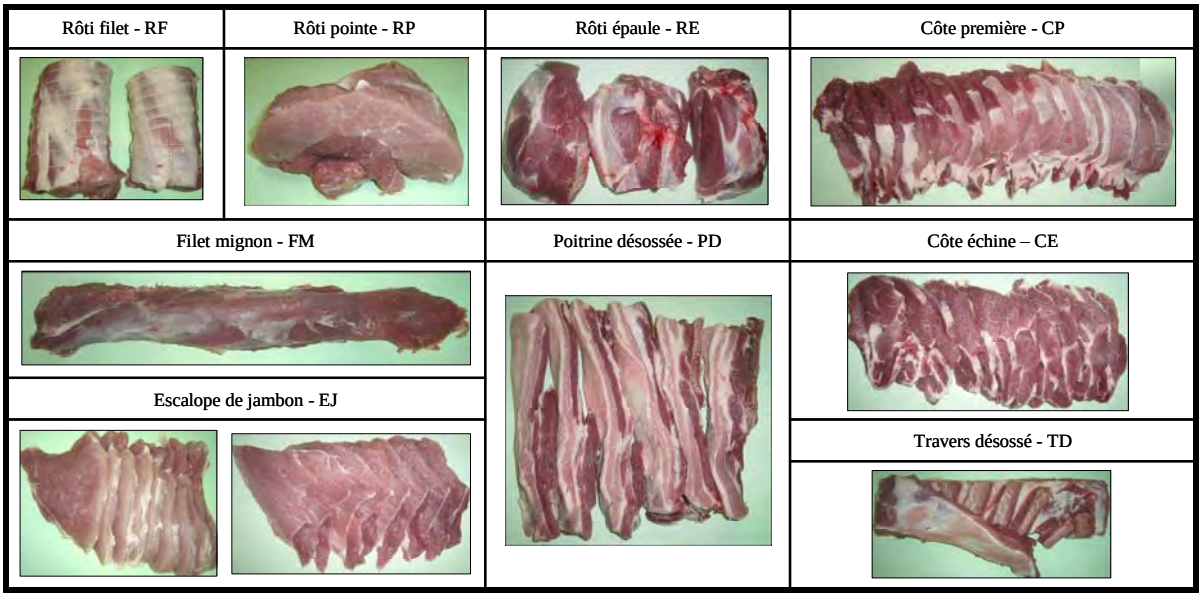
Introduction :

La communication sur les caractéristiques nutritionnelles devient de plus en plus présente, véhiculée tant par les entreprises agroalimentaires via leurs produits que par les organisations professionnelles. Depuis quelques années, une réflexion a été engagée entre le CIQUAL (Centre Informatique sur la Qualité des Aliments) et plusieurs Instituts Techniques animaux dont l'ITP, pour accomplir une mise à jour des données nutritionnelles des produits carnés. Cette action, co-financée par INAPORC et l'OFIVAL, a permis dans un premier temps de réaliser un travail bibliographique (récolte de données et recensement des principaux facteurs de variation ; Vautier, 2005). La réalisation d'une campagne d'analyse est apparue comme nécessaire, en particulier sur un ensemble de produits en présentation commerciale telle que les consommateurs peuvent rencontrer sur les points de vente.

Matériel et méthodes :

Une liste de nutriments d'intérêt majeur a été déterminée en collaboration avec le CIQUAL. Le plan d'échantillonnage suivant a été établi d'après une estimation bibliographique de la variabilité des nutriments : n = 30 porcs analysés pour les nutriments à variabilité forte (taux de lipides, profil d'acides gras) ; n = 5 porcs analysés pour les nutriments à variabilité modérée (protéines, glucides totaux, cholestérol, fer total, fer héminique, phosphore, potassium, sodium, calcium, magnésium, sélénium, zinc, vitamines B1 B2 B3 B6 et B12). L'objectif de l'étude étant l'obtention de données représentatives de la production actuelle, certaines caractéristiques des carcasses de l'échantillon ont été contrôlées de manière à éliminer les carcasses aux caractéristiques extrêmes : type génétique fixé (verrat terminal LW*P), sexe ratio équilibré, poids de carcasses entre 86 et 97 kg, Teneur en Viande Maigre entre 58 et 64%, alimentation industrielle issue d'une production certifiée (75% minimum de céréales, issues de céréales, pois, soja et tubercules, moins de 1.7% d'acide linoléique). Neuf pièces de découpe au format UVC ont été sélectionnées (tableau 1) pour la réalisation de cette campagne d'analyse. Les critères de sélections sont les suivants : saisonnalité faible, représentativité des 4 pièces de la carcasse, types de présentations /parage distincts.

Tableau 1 : présentation des 9 pièces analysées



Résultats – discussion :

Les taux de lipides totaux mesurés (tableau 2) sont nettement supérieurs aux taux de lipides intramusculaires analysés sur muscles isolés que l'on peut relever dans la bibliographie : de 1.5 à 2% sur le muscle Longissimus Dorsi (Mourot et al., 2001 ; Chesneau et al., 2004 ; Vautier et al., 2004 ; Lebret et al., 2006 ; Gondret et al., 2006) et de 2.0 à 6.2% sur les muscles de la cuisse de porc (Minvielle et al., 2002 ; Boutten et al., 2004). L'équilibre des acides gras poly-insaturés, représenté par le rapport oméga 6 / oméga 3, varie entre 14 et 16 selon les pièces, ce qui est supérieur aux données rapportées par Vorin et al. (2003) sur muscle isolé (de 11 à 12, alimentation standard). Cet écart est peut être à attribuer à la présentation spécifique en pièce de la viande (présence de gras intermusculaire). La teneur en phosphore est

conforme aux données de la bibliographie allant dans le sens d'une grande stabilité en fonction de l'origine anatomique (Minvielle et al., 2002). Malgré les variations de l'origine anatomique et du degré de parage des pièces, les teneurs en sodium, magnésium et calcium semblent également très stables, conformément aux résultats de Ledoux et al. (1993) et Shelton et al. (2004), réalisés sur muscle Semimembranosus et Longissimus Dorsi, respectivement. Le taux de potassium mesuré dans cette étude est de 100 fois supérieur au taux rapporté par Ledoux et al. (1993), ce qui peut nous interpeller d'autant que des analyses effectuées sur viande de bœuf fraîche montre des taux de même grandeur (340 mg/100g de viande fraîche ; Serrano et al. , 2005). La teneur en fer bio-disponible (de 0.27 à 0.61 mg/100g de fer héminique) correspond aux résultats de Estevez et al. (2003) mesurés sur muscle Longissimus Dorsi (0.36 mg/100g de muscle frais). La côte échine et le rôti épaule présentent les taux de fer héminique les plus élevés. Enfin, la teneur en zinc est également du même ordre que les valeurs relevées dans la bibliographie (Ledoux et al., 1993 ; Shelton et al., 2004). Il est à noter que deux des neufs pièces analysées (côtes échine et rôti épaule) présentent un taux de zinc de deux fois supérieur au reste des pièces (2.8 et 2.6 mg/100g, respectivement).

Tableau 2 : composition nutritionnelle par type de pièce

NOM DE LA PIECE		Côte première	Côte échine	Rôti filet	Rôti pointe	Rôti échine	Filet mignon	Travers désossés	Poitrine désossée	Escalope jambon
NUTRIMENT	**UNITE**									
Protéines	% poids frais	21,15	18,51	21,41	21,75	19,70	21,20	18,00	17,00	21,49
Phosphore (P)		0,21	0,20	0,21	0,23	0,21	0,22	0,19	0,17	0,22
Glucides totaux		0,37	0,21	0,33	0,33	0,25	0,25	0,17	0,18	0,28
Sodium (Na)	mg/100g	45,60	52,80	42,40	47,20	52,90	43,80	48,30	56,10	49,20
Potassium (K)		362,70	337,40	382,50	386,60	359,70	394,50	329,80	293,50	392,30
Calcium (Ca)		7,06	7,02	6,86	8,23	6,98	8,99	8,49	6,68	6,39
Cholestérol		47,28	44,17	38,39	43,67	55,25	26,76	63,84	66,50	43,49
Fer total (Fe)		0,48	0,84	0,44	0,62	0,88	0,82	0,60	0,52	0,60
Fer héminique		0,30	0,61	0,27	0,34	0,56	0,51	0,40	0,36	0,36
Magnésium (Mg)		23,60	20,80	25,80	27,20	23,80	27,60	19,60	18,80	27,00
Zinc (Zn)		1,82	2,80	1,46	1,62	2,60	1,68	2,10	1,84	1,66
Vitamine B1		0,73	0,69	0,81	0,86	0,81	0,95	0,66	0,59	0,82
Vitamine B2		0,15	0,21	0,15	0,17	0,22	0,21	0,16	0,15	0,18
Vitamine B3		5,27	4,72	5,87	6,46	4,75	6,60	5,35	4,65	6,39
Vitamine B6		0,45	0,36	0,47	0,49	0,44	0,50	0,37	0,35	0,51
Vitamine B12	µg/100g	0,27	0,42	0,27	0,27	0,36	0,31	0,38	0,37	0,28
Sélénium (Se)	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Acides gras saturés	% de la fraction lipidique	42,49	41,45	41,75	41,06	40,30	42,44	41,13	40,31	40,31
Acides gras monoinsaturés		46,16	46,95	46,67	46,44	47,47	43,72	47,45	48,09	47,28
Acides gras polyinsaturés		11,27	11,53	11,51	12,43	12,16	13,70	11,36	11,50	12,32
Acide alpha linolénique		0,47	0,50	0,47	0,45	0,51	0,46	0,54	0,55	0,44
AGPI oméga 3		0,71	0,75	0,73	0,78	0,79	0,89	0,74	0,76	0,75
AGPI oméga 6		10,50	10,73	10,73	11,60	11,31	12,74	10,56	10,69	11,51
rapport AGPI/AGS		0,27	0,28	0,28	0,30	0,30	0,32	0,28	0,29	0,31
rapport oméga6/oméga3		15,04	14,64	15,00	15,19	14,56	15,62	14,49	14,42	15,87
lipides totaux	% poids frais	8,02	10,71	7,15	4,78	8,12	4,24	18,21	20,42	5,12

Conclusion :

Cette étude a permis, outre une mise à jour de données anciennes, de disposer d'un profil nutritionnel complet sur un ensemble de pièces de présentations commerciales courantes. L'analyse de ces résultats permet également de positionner la viande de porc de production dite standard par rapport à l'utilisation potentielle de certaines allégations nutritionnelles sur produit frais (BOCCRF N°15, 31/08/1999). Ainsi, il est mis en évidence que les allégations « Riche en Phosphore » et « Riche en Vit.B1 » peuvent être appliquées à l'ensemble de ces 9 pièces. Les teneurs en Vit. B3 et B12 permettent également pour toutes les pièces analysées l'utilisation des allégations « Riche en… » ou « Source de… » selon les teneurs. Enfin, les côtes échine et rôtis épaule présentent d'après ces résultats des compositions permettant l'utilisation de l'allégation « Source de Zinc ». Toutefois, la question de la stabilité de la composition nutritionnelle après cuisson reste un thème qu'il semble nécessaire de prendre en compte.

Bibliographie :

Boutten B., 2004. Bull. liais. CTSCCV, vol 14, n°3, 13-20 ● Estevez M., Morcuende D., Lopez R.C. 2003. Meat Sci., 64, 499-506 ● Chesneau G., Quemener B., Weill P., 2004. 10èmes JSMTV, 59-60 ● Gondret F., Lefaucheur L., Juin H. 2006. J. Anim. Sci, 84, 93-103 ● Lebret B., Meunier Salaün M.C., Foury A. 2006. Jour. Rech. Porc., 38, 81-88 ● Ledoux D., Knight C., Becker B., 1993. J. Anim. Sci., 71, 2180-2186 ● Minvielle B., Boutten B., Alviset G. 2002. Jour. Rech. Porc., 34, 7-13 ● Mourot J., Hermier D., 2001. Repr. Nutr. Dev., 41,109-118 ● Serrano A., Cofrades S., Ruis-Capillas C. 2005. Meat Sci., 70, 647-654 ● Shelton J., Southern L., Lemieux F., 2004. J. Anim. Sci., 82, 2630-2639 ● Vautier A., Boulard J., Houix Y. 2004. 10èmes JSMTV,67-68 ● Vautier A., 2005. Les valeurs nutritionnelles de la viande de porc: les facteurs de variation. ITP, rapport d'étude. ● Vorin V., Mourot J., Weill P. 2003. Jour Rech. Porc., 35, 251-256.

EFFET DE REGIMES RICHES EN ACIDES GRAS OMEGA-3 SUR LA COMPOSITION DE LA LONGE DE PORCS ABATTUS A 110 ET 160 KG P.V.

Musella M.[1], Douard V.[2], Corino C.[1], Mourot J.[2]

[1] Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare, Facoltà di Medicina Veterinaria, - Via Celoria, 10 - 20133 Milan, Italie.
[2] INRA UMR SENAH, 35590 St-Gilles, France

Introduction

On assiste actuellement à la mise à disposition auprès du consommateur d'un nombre croissant de nouveaux vecteurs alimentaires riches en acides gras (AG) oméga 3. Ces nouveaux aliments viendront en complément de ceux connus comme source d'oméga-3, comme les poissons ou l'huile de colza. Des essais concluants pour enrichir la viande en oméga 3 ont été effectués chez le porc abattu à 110 kg, poids traditionnel d'abattage en France. Dans la perspective d'utiliser des animaux d'un poids d'abattage plus élevé (150 à 170 kg) pour la transformation en produits de charcuterie tels que les jambons secs (Parme, Bayonne…), il est nécessaire de connaître les effets des oméga-3 sur la composition corporelle des animaux de ces porcs lourds.

Matériels et méthodes

40 porcs mâles castrés croisés Large-White*Landrace*Pietrain ont reçu entre 80 kg et l'abattage 2 régimes isolipidiques et isoénergétiques. La nature des lipides des régimes était différente: régime RT, avec 3% d'huile de tournesol, donc riche en oméga-6, et RL, avec 6% de graines de lin extrudées, soit 3% de lipides, donc riche en oméga-3. 8 porcs par lot ont étés abattus à 110 kg, les autres à 160 kg. Des échantillons de muscle *Longissimus dorsi* (LD) sont prélevés à l'abattage. Les lipides sont extraits à froid selon la méthode de Folch (1957) (méthanol-chloroforme) et les AG sont analysés par chromatographie en phase gazeuse. La sensibilité du muscle LD à l'oxydation lipidique par induction avec fer est déterminée par la mesure du niveau de peroxydation à l'aide de l'acide 2-thiobarbituric (TBARS) par la méthode de Kornbrust et Mavis (1980) modifiée et exprimée comme nMol de malondialdehyde (MDA)/mg de protéine. Le contenu en protéines est déterminé par la méthode de Lowry et al. (1951). Une comparaison de moyenne est effectuée par ANOVA et pour les TBARS à l'aide de l'analyses des mesures répétées.

Résultats et discussion

L'effet de la nature des acides gras alimentaires est une nouvelle fois retrouvé dans les tissus. La composition en acides gras du LD est présentée dans le Tableau 1. Le pourcentage en lipides totaux du muscle LD n'est pas affecté significativement par le traitement alimentaire soit pour les porcs de 110 kg (1.88 pour RT *vs* 1.78 pour RL) soit pour ceux de 160 kg (2.46 pour RT *vs* 2.10 pour RL), toutefois on peut observer que le niveau est toujours inférieur dans le LD des porcs du régime RL. A un même stade de poids, le régime alimentaire n'affecte pas la teneur moyenne en AG saturés, mono ou polyinsaturés du muscle LD, mais entre les stades de poids on peut observer une différence significative dans le contenu en AGS et AGM ($P<0.01$) avec un niveau plus haut chez les porcs abattus à 160 kg. La teneur en AG oméga-6 n'est pas significativement supérieure chez les porcs recevant le régime RT, toutefois elle est plus élevée, et celle en oméga-3 est significativement supérieure chez les porcs du régime RL (LD: la teneur en mg d'AG oméga-3 est de 17,1 pour RT *vs* 41,9 pour RL, $P<0.001$). Le rapport oméga-6/oméga-3 varie de 12,2 à 4,5 respectivement pour RT et RL dans le muscle LD. Le contenu en AG de la famille oméga-6 ne change pas significativement entre les animaux soit avec un régime alimentaire soit avec un poids à l'abattage différent., Mais le régime alimentaire affecte significativement ($P<0.001$) le contenu dans le muscle LD en AG de la famille oméga-3 . Les mêmes résultats ont été observés par Matthews et al. (2000) mais chez de porcs abattus à 77-87 kg de poids vif et dans le muscle *Longissimus thoracis*. Ces résultats peuvent être dus à la composition en AG des deux différents régimes qui se réfléchissent sur la composition en AG du muscle LD. Ces résultats confirment l'existence d'une relation entre le taux d'acides gras oméga-3 ou oméga-6 ingérés et ceux déposés (Vorin et al., 2003). La composition en acides gras va se réfléchir aussi sur la valeur de TBARS (thiobarbituric acid reactive substances), mais dans notre essai, le niveau d'oxydation du muscle LD frais de porcs de 110 kg apparaît très limité sur la base des mesures relatives aux TBARS (Figure 1). En effet il n'y a pas de différences significatives entre les deux groupes. Toutefois le traitement alimentaire affecte significativement la valeur de TBARS du LD frais des porcs de 160 kg ($P<0.05$). A ce stade de poids, le potentiel d'oxydation apparaît plus élevé chez les animaux recevant le régime RL ($P<0.05$). Ceci peut être mis en relation avec la teneur plus élevée en acides gras oméga 3 dans le muscle LD chez les porcs à 160 kg, ces résultats vont dans le sens de ceux observés par Rey et al. (2004).

Conclusions

Par les facteurs d'élevage, il est possible d'améliorer la qualité nutritionnelle de la viande fraîche et de la matière première destinée à la transformation. Cette augmentation de la teneur en oméga-3 des produits est non négligeable en terme de quantité apportée par l'aliment. Il est nécessaire de poursuivre les études pour connaître l'impact de la technologie sur la qualité des produits finis. Il sera certainement nécessaire de redéfinir les besoins en facteurs oxydants en relation avec l'apport d'oméga 3 dans l'alimentation du porc.

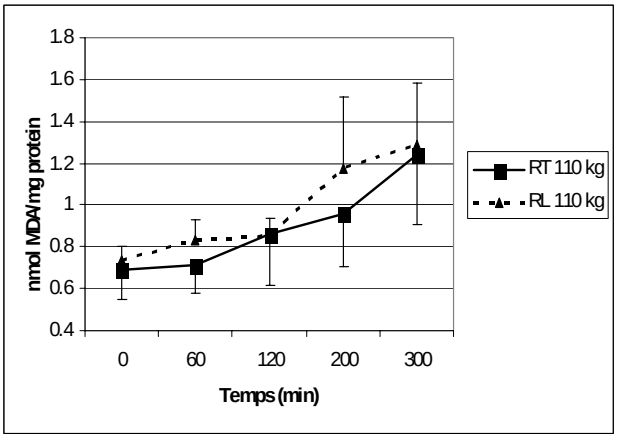
Tableau 1. Teneur en lipides totaux et en acides gras du muscle *Longissimus dorsi* cru en fonction des régimes tournesol (**RT**), grain de lin extrudé (**RL**) et du poids vif à l'abattage (les principaux AG sont rapportés) (expression en mg d'AG pour 100 g de muscle).

	110 kg		**160 kg**		**Effets[1]**		
	RL	**RT**	**RL**	**RT**	**R**	**PV**	**RxPV**
Lipides totaux	1,89	1,87	2,46	2,11	+	NS[2]	NS
C18:1n9	520	509	866	710	NS	**	NS
C18:2n6	165	152	182	155	NS	NS	NS
C18:3n3 α ALA	6,14	18,5	6,57	24,7	***	+	NS
C20:4n6	30,0	29,2	33,0	29,1	NS	NS	NS
C20:5n3 EPA	1,45	4,42	1,21	6,07	***	NS	*
C22:5n3 DPA	4,34	7,06	4,40	9,05	***	NS	NS
C22:6n3 DHA	0,88	1,81	0,98	1,42	**	NS	NS
AGS	484	482	765	648	NS	**	NS
AGM	575	564	951	783	NS	**	NS
AGPI	217	221	238	235	NS	NS	NS
AGPI n6	195	181	215	184	NS	NS	NS
AGPI n3	16,6	35,4	17,6	45,6	***	+	NS
n6:n3	11,8	5,2	12,4	4,1	***	NS	***

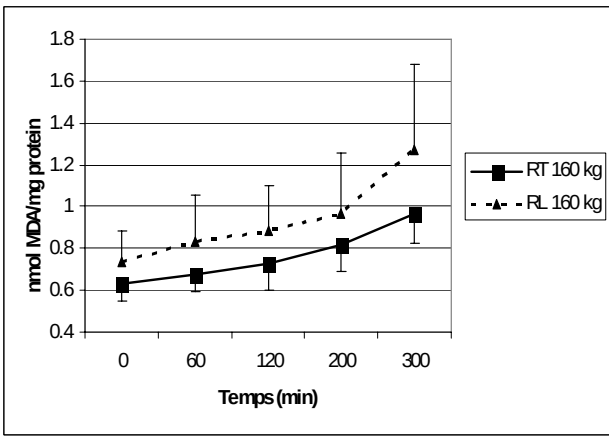
AGS: acides gras saturés; AGMI acides gras monoinsaturés; AGPI, acides gras polyinsaturés.
[1] *T: + P<0.10 * P<0,05 ** P<0,01 *** P<0,001*
[2] *NS: not significant*

Figure 1. Production de substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) en fonction des régimes tournesol (**RT**), grain de lin extrudé (**RL**): 1a. porcs de 110 kg (temps: P<0.05; régime: NS); 1b. porcs de 160 kg (temps: P<0.05; régime: P<0.05).

1a



1b



Références bibliographiques

Folch J., Lee M., Sloane Stanley G. H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497–509.
Kornbrust D. J., Mavis R. D., 1980. Lipids, 15, 315–322.
Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randal R. J., 1951. J. Biol. Chem., 193(1), 265-75.
Matthews K. R., Homer D. B., Thies F., Calder P.C., 2000. Br. J. Nutr., 83, 637-643.
Rey A. I., Lopez-Bote C. J., Kerry J. P., Lynch P. B., Buckley D. J., Morrissey P. A., 2004. Anim. Feed Sci. Tech., 113, 223-238.
Vorin V., Mourot J., Weill P., Robin G., Peiniau P, Mounier A., 2003. Journées Rech. Porcine, 35, 251-256.

SESSION 2

Valeur nutritionnelle et valeur santé des viandes et des produits carnés

Animateurs : Jacques Mourot (Inra-Rennes)
et Jean-Luc Vendeuvre (Ifip)

Posters

COMPOSITION EN ACIDES GRAS ET VITAMINE E DANS LES VIANDES DE POULETS DE CHAIR NOURRIS AUX GLANDS DE CHENE VERT

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] INRA, UMR SENAH, 35590 St-Gilles, France.

Introduction

La diminution de la quantité de lipides dans l'alimentation et l'amélioration de la nature des acides gras est un fait très recherché actuellement par le consommateur. A cet effet, la particularité du poulet à déposer des acides gras polyinsaturés (AGPI) pourrait être mise à profit pour améliorer la qualité nutritionnelle de cette viande et mieux correspondre aux souhaits des nutritionnistes humains. Ainsi, le choix de la source lipidique est déterminant dans l'alimentation du poulet pour améliorer cette qualité nutritionnelle. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet d'un régime à base de glands de chêne vert, naturellement riche en acides gras polyinsaturés, sur la composition nutritionnelle des lipides de la viande. Néanmoins, la forte proportion des acides gras dans la viande pourrait être sujette à des problèmes d'oxydation qui limiteraient sa durée de conservation. Dans ce cadre, la teneur de la vitamine E a été mesurée.

Matériels et méthodes

Des poulets de chair de souche ISA, 500 sujets pour chaque régime, sont nourris dès la naissance et jusqu'à 14 jours avec un régime standard, (3100 kcal/kg, 22% de protéines). La distribution du régime témoin (S) et du régime expérimental à base de glands de chêne vert (CV) est effectuée à partir du 15eme jour et se poursuit jusqu'à 56 jours, soit après une durée d'engraissement de 6 semaines. Le gland de chêne vert et le maïs sont incorporés à parts égales (33.5 %) dans le régime expérimental (CV) alors que le maïs est à 67% dans le témoin S. La teneur lipidique du régime gland (S) est de 4.18% contre 3.33% pour le standard (S). Les acides gras dominants dans le régime à base de gland sont le C16 :0 (16.05%), C18 :1 (30.59%), C18 :2 n-6 (43.22%) et le C18 :3 n-3 (5.44% contre 3.17% pour le témoin). A l'âge de 8 semaines, 50 animaux de chaque régime sont pesés et sacrifiés. Les prélèvements d'échantillons du tissu musculaire de la cuisse sont conservés à -20°C pour être analysés ultérieurement. 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. Les extraits lipidiques ont aussi servi à l'analyse de l'acétate tocophérol et α tocophérol selon la méthode de (Schüep et Steiner, 1987). Les résultats sont testés par analyse de la variance.

Résultats et discussions

A l'abattage, les poids vifs des animaux du régime S étaient supérieur de 2% (NS) à ceux de CV alors que l'écart était de 12% à 35 jours (P<0.01). En revanche, la proportion du tissu adipeux est deux fois plus élevé chez le témoin S par rapport au régime CV (p<0.01). Les poids vifs et les poids de tissus adipeux engendrés par les animaux nourris par le régime maïs sont similaires à ceux rapportés par Pikul, (1985) et Legrand et al, (1987). La teneur en lipides du muscle est significativement inférieure (p<0.01) chez les poulets du régime CV (2.5 % *vs* 3.5% dans le S) et ce quelque soit l'âge d'abattage. Les proportions en acides gras du muscle mettent en évidence une prédominance des acides palmitique, oléique et linoléique (tableau 1). Ce dernier est en proportion importante chez les animaux nourris aux glands de chêne vert par rapport au régime standard, (17.7 vs 13.7 % ; P<0.001). Ce résultat confirme nos observations antérieures sur le tissu adipeux et musculaire (Bouderoua et Selselet-Attou 2003, Bouderoua et al., 2004). Cette teneur est supérieure à celle rapportée avec le poulet nourri par 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). A ce propos, nous pouvons penser que les poulets nourris aux glands, reçoivent très certainement un amidon moins digestible que celui apporté par la graine de maïs, de ce fait il y aura moins de substrats disponible pour la lipogenèse hépatique (Mourot et Hermier, 2000). Ainsi l'acide linoléique apparaîtra en proportion plus importante chez les poulets du lot gland du fait d'une moindre dilution par les autres acides gras issus de la synthèse *de novo.* De même, la proportion élevée en acides gras saturés dans le muscle des animaux témoins (36 vs 32%, p<0.05) s'explique globalement par la forte activité de la lipogenèse hépatique comparativement au régime à base de glands de chêne vert (Bouderoua et Selselet-Attou G, 2003).
Ces observations ont déjà été rapportées par plusieurs auteurs (Lessire, 2001; Mossab, 2000; Mourot et Hermier, 2000) chez le poulet et la dinde.

Tableau 1. Composition en acides gras de la cuisse du poulet, expression en % des acides gras identifiés.

Régimes	Témoin	Gland de chêne vert	Effet du régime
Lipides totaux (%)	2.83 ±0.5	2.48 ±0.5	P<0.05
C16:0	26.7 ±1.2	22.7± 1.2	<0.05
C18 :1(n-9)	38.4 ±1.9	41.3±2.2	<0.05
C18:2(n-6)	13.7± 1.8	17.7±1.2	<0.001
C18:3(n-3)	0.6 ±0.1	0.8±0.2	<0.01
C20:3 (n-3)	2.0±0.9	1.8±0.5	NS
C20:4(n-6)	0.03±0.0	0.03±0.0	NS
C20:5(n-3)EPA	0.1±0.1	0.05±0.0	NS
C22:5 (n-3)DPA	0.2±0.0	0.38±0.45	<0.03
C22:6(n3)DHA	0.2±0.0	0.2±0.2	NS
Σ AGS	36.4±1.4	32.39±2.5	<0.05
ΣAGMI	46.4±2.5	46.4±2.7	NS
ΣAGPI	17.2 ±2.5	21.2±1.4	<0.001
Σ (n-6) / Σ (n-3)	4.5±1.2	5.7±1.4	<0.01

Les proportions de Vitamine E (tableau 2) dans la viande des poulets du régime CV sont significativement inférieures à celles des poulets S (P<0.01). Les mêmes observations sont rapportées par Ahn et al. (1997) qui montrent une diminution de l'assimilation de la Vitamine E par le poulet lorsque le régime est enrichi en AGPI. La présence de ces acides gras entraîne une utilisation accrue de la vitamine E au cours du transport sanguin pour réduire les phénomènes d'oxydation. Ceci réduit les quantités déposées en vitamine E et va donc augmenter encore plus l'oxydation des lipides.

Tableau 2. Composition en vitamine E (µg par 1g de lipides totaux)

Régime	Témoin	Glands de chêne vert	Effet du régime
Acétate tocophérol	235± 113	122 ±75	<0.01
α Tocophérol	52± 63	34 ±67	<0.05
Vitamine E	287±164	155 ±139	<0.01

Conclusion

L'incorporation du gland de chêne vert dans le régime du poulet a permis d'enrichir la viande en acides gras polyinsaturés devenus supérieurs à ceux du standard. Cependant, les teneurs faibles en vitamine E laissent penser à une augmentation de l'instabilité oxydative des lipides musculaires. La recommandation de supplémentation du régime alimentaire en antioxydants doit donc être envisagée dans le cas d'utilisation de régimes à bases de glands.

Références Bibliographiques

Ahn B.K., Banno C., Xia Z.S., Tanka K., Othani S., Comp. Biochem. Physiol., 116B, N°1(1997), 119-125.
Ajuyah A. O., Lee K.H., Hardin R.T., Slim J.S., Poult. Scci., 70 (1991), 2304-2314.
Bouderoua K., Selselet-Attou G., Anim. Res., 52(2003), 377-382.
Bouderoua K., Selselet-Attou G., Mourot J., Viande & Prod. Carnés, Hors série 53-54 (2004) , 10èmes JSMTV, Rennes-France 25-26 oct. 2004
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.
Schuëp W., Steiner K., in Roche, Animal Nutrition and Health, 1987

EFFET DES ACIDES GRAS N-3 SUR LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE LAPIN

MOUROT J[1], BLOCHET J.E. [2], KOUBA M. [1]
[1] INRA – AGROCAMPUS - UMR SENAH, 35590 St-Gilles
[2] ZOOPOLE DEVELOPPEMENT, 2 rue J. Rostand, 22440 Ploufragan

Introduction

La viande de lapin est considérée comme une viande diététique car apportant peu de lipide dans l'alimentation humaine (Combes, 2004). Comme pour l'ensemble des animaux monogastriques, les facteurs alimentaires peuvent influencer la qualité des acides gras déposés dans la viande (Mourot et Hermier, 2001). Il est donc possible d'utiliser cette particularité pour essayer d'orienter la qualité nutritionnelle des produits animaux pour répondre aux souhaits des nutritionnistes humains. Les ANC (apports nutritionnels conseillés) préconisent d'introduire davantage d'acides gras n-3 dans l'alimentation humaine et de diminuer la part des acides gras n-6 pour obtenir un rapport n-6/n-3 voisin de 5 alors qu'il est actuellement entre 15 et 30 (ANC 2001). L'AFSSA recommande de prendre en considération tout vecteur alimentaire qui permettra d'introduire des acides gras n-3 dans l'alimentation. Les productions animales peuvent aider à cette démarche. Par exemple chez le lapin, un régime très riche en luzerne permet d'augmenter la teneur en acides gras n-3 de la viande (Combes et Cauquil, 2006). Chez d'autres espèces animales comme le porc ou la volaille, l'introduction de graines de lin extrudées permet d'enrichir la viande en acides gras n-3 (Wilfart et col, 2004) ou les œufs. Chez le lapin, les graines de lin ont encore été peu utilisées dans l'alimentation. Ce travail a donc pour but d'étudier l'effet de l'introduction des graines de lin sur la qualité des lipides déposés dans la viande de lapin.

Matériels et méthodes

Les animaux ont été élevés dans un élevage certifié rattaché à un groupement selon des pratiques usuelles d'élevage. 32 lapins (16 par régime) ont reçu un régime standard ou un régime expérimental contenant des graines de lin extrudées (6 % de Croquelin, soit 3 % de graines de lin). Le régime expérimental lin comporte 3,1 fois plus d'acides gras n-3 que le régime témoin.

Les morceaux de découpe (avant, râble, cuisse) sont parvenus au laboratoire en conditionnement standard de type commercial. Des mesures ont été effectuées sur le muscle long dorsal paré, sur le tissu adipeux périrénal, sur le foie et sur la globalité des morceaux de découpe présents dans la barquette. Le poids de viande de la carcasse entière a été reconstitué à partir des différents poids de découpe afin d'avoir une approche la plus exacte possible de la teneur en acides gras n-3 contenue dans la barquette commerciale.

Les lipides ont été extraits par la méthode de Folch et col (1957) basée sur une extraction à froid par un mélange de solvants méthanol:chloroforme. Les acides gras ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse après dérivation au BF3 méthanol (Morrison et Smith 1964). Une analyse de variance a été effectuée pour comparer l'effet des régimes.

Résultats et discussions

L'introduction de graines de lin dans le régime a permis d'augmenter fortement la proportion d'acides gras n-3 dans les tissus (tableau 1), ce qui confirme une nouvelle fois les relations qui existent entre les lipides ingérés et les acides gras déposés dans les tissus (Mourot et Hermier, 2001).

Tableau 1: Effet des régimes sur la composition en acides gras de différents tissus (expression en % des AG identifiés)

	régime	AGS	AGM	AGPI	n-6	n-3	n-6/n-3
foie	témoin	41,2a	25,9	32,8	28,9	3,5	8,3
		1,4b	3,0	2,9	2,7	0,4	1,0
	lin	39,9	21,6	37,9	31,6	6,0	5,4
		1,2	3,0	3,9	3,3	1,1	0,7
	effet	p<0,05	p<0,001	P<0,001	NS	p<0,001	p<0,001
muscle LD	témoin	39,3	30,3	30,4	26,7	3,4	7,9
		1,5	1,4	2,3	2,0	0,4	0,5
	lin	38,4	27,7	33,9	27,0	6,7	4,1
		1,3	1,8	2,2	1,7	0,8	0,4
	effet	p<0,05	p<0,001	P<0,001	NS	p<0,001	p<0,001
TA périrénal	témoin	40,1	34,7	25,3	21,5	3,6	6,0
		0,7	1,3	1,2	1,0	0,2	0,3
	lin	37,3	30,7	31,9	22,2	9,6	2,3
		1,4	1,4	1,9	1,1	0,7	0,1
	effet	p<0,001	p<0,001	P<0,001	NS	p<0,001	p<0,001

AGS: AG saturés; AGM: AG moninsaturés; AGPI: AG polyinsaturés: a: moyenne, b: écart-type

Tableau 2: Effet des régimes sur les quantités d'acides gras présents dans la carcasse globale et les différents morceaux de découpe (expression en mg d'AG par 100 g de viande fraîche).

morceaux	régimes	AGS	AGM	AGPI	n-6	n-3	n-6/n-3
Avant	témoin	1942a	1651	1260	1080	171	6,3
		382b	306	258	224	35	0,5
	lin	2087	1657	1803	1268	528	2,4
		368	279	416	298	117	0,1
Râble	témoin	2277	1942	1461	1253	198	6,3
		400	344	183	168	17	0,5
	lin	2292	1851	1926	1354	565	2,4
		350	216	353	262	88	0,1
Cuisse	témoin	1083	901	729	628	95	6,6
		251	214	166	145	21	0,5
	lin	1207	978	1022	727	291	2,5
		156	200	132	84	50	0,1
Carcasse globale	témoin	1741	1475	1134	973	153	6,4
		262	219	149	134	16	0,5
	lin	1827	1470	1551	1093	452	2,4
		200	167	229	168	61	0,1

(a) valeur moyenne; (b) écart-type

La quantité d'acides gras n-3 est multipliée par 3 chez les lapins recevant le régime avec les graines de lin. Il existe donc une bonne corrélation avec ce qui est ingéré, le régime lin apportant plus de 3fois plus du précurseur α linolénique que le régime standard.

Exprimé en pourcentage, 100g de viande couvrent près de 25 % des besoins journaliers en acides gras n-3. Cette valeur est supérieure à celle observée (15 % des AJR) avec l'introduction de luzerne déshydratée dans le régime (Combes et Cauquil 2006).

La forme d'acides gras n-3 dans la viande reste essentiellement sous forme du précurseur α linolénique, les dérivés à longue chaîne sont peu présents ce qui laisse penser à une très faible activité delta 5 et delta 6 désaturases contrairement à ce qui est observé chez la volaille et à un degré moindre chez le bovin voir le porc (Chesneau et col, 2004).

Conclusion

Comme pour les autres espèces animales ayant fait l'objet d'étude sur l'incorporation de graines de lin dans le régime, il est possible d'augmenter significativement la teneur en acides gras n-3 dans la viande de lapin. Cette étude préliminaire mérite d'être poursuivie pour confirmer les premiers résultats. Elle doit essayer de mieux définir les quantités de graines de lin à apporter dans l'aliment pour avoir le meilleur dépôt dans la viande: augmentation du taux de graines à coupler avec une réduction de la période de distribution? Il faut également redéfinir les besoins en facteurs anti-oxydants de l'aliment pour limiter la peroxydation possible des acides gras n-3. Toutefois la présence en faible quantité des acides gras n-3 à longue chaîne dérivés du précurseur α linolénique limite certainement les risques de peroxydation de ces acides gras.

En conclusion, une pratique d'élevage consistant à introduire des graines de lin dans l'aliment du lapin permettra de mettre à disposition des consommateurs des produits à teneurs élevées en acides gras n-3 ce qui va donc dans le sens des recommandations nutritionnelles de l'AFSSA et de prévention des maladies cardio-vasculaires.

Références Bibliographiques

ANC, Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française, (2001) AFSSA, Ed. Tec & Doc, Paris.
Chesneau G., Quemener B., Weill P. Viandes & Produits carnés 2004, Hors Série, 10 èmes JSMTV, 59-61.
Combes S., INRA Prod Anim., 17 (2004), 373-383.
Combes S., Cauquil L., Viandes & Produits carnés, 25(2006), 31-35.
Folch J., Lees M., Sloane-Staneley G.H., J. Biol. Chem., 233(1957), 311-320.
Morisson W. R., Smith L. M., J, Lipid Res., 5(1964), 600-608.
Mourot J., Hermier D., Reprod. Nutr. Dev., 41 (2001), 109-118.
Wilfart A., Ferreira J.M., Mounier A., Robin G., Mourot J. 36ème Journées de la Recherche Porcine (2004), 195- 202.

Remerciements: les auteurs remercient la Société Bretagne Lapins pour leur soutien technique et financier.

L'EFFET DU POIDS VIF A L'ABATTAGE SUR LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES, PHYSIQUES ET SENSORIELLES DE LA LONGE DU PORC.

CANNATA S. [1], RATTI S. [2], ROSSI R. [1], CORINO C. [1]

[1] Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare, Facoltà di Medicina Veterinaria, - Via Celoria, 10 - 20133 Milan, Italie.
[2] S. A. Gemini, Via Chianciano 9 – 20161 Milan, Italie.

Introduction

En Europe les porcs viennent abattus à un poids vif (PV) de 100-120 kg, tandis qu'en Italie la production porcine est orientée vers un animal plus âgé (9 mois minimum) et de poids vif plus élevé (160 kg ± 10%) pour la transformation en produits de charcuterie à Appellation d'Origine Protégée tels que les jambons secs de Parme et San Daniele. Dans ce but, en effet, la viande doit présenter des caractéristiques chimiques, physiques et organoleptiques qui rentrent dans les standards qualitatifs énumérés dans la réglementation de production. Les caractéristiques de la viande du porc lourd italien viennent de spécifiques techniques d'élevage, rapportées à la génétique, à l'alimentation, à l'âge et au poids vif des animaux.
Récemment pour le porc lourd, appelé 'Gran Suino Padano', l'Italie a proposé à l'UE l'Appellation d'Origine Protégée. Si les caractéristiques technologiques des viandes du porc lourd sont sûrement très importantes en charcuterie, il est maintenant nécessaire définir qualitativement les différents morceaux de viande fraîche du porc lourd. C'est pourquoi l'objectif de la présente étude est de comparer les caractéristiques qualitatives des longes issues de porcs légers ou lourds à l'abattage.

Matériels et méthodes

Le jour de la découpe, la longe gauche de 17 porcs femelles, 7 porcs (Goland) abattus au poids vif moyen de 166 kg, et 10 porcs (Hypor x Dumeco) abattus au poids vif moyen de 120 kg, a été parée puis conservée à 4°C pendant 48h.
Le pH ultime et la couleur, en utilisant un colorimètre Minolta CR-300, ont été mesurés à 24h post-mortem. Les longes ont été mises sous vide et conservés à -20°C pour les analyses suivantes.
En laboratoire, les analyses on porté sur la composition chimique: teneur en matière sèche, en lipides, en protéines et en cendres (A.O.A.C., 2000). Un morceau de longe est également prélevé pour une mesure des pertes d'eau au ressuyage (24h à 3°C) et à la cuisson (au bain-marie jusqu'à atteindre une température de 72°C à cœur). La force maximale appliquée lors du cisaillement d'un échantillon de viande cuite a été mesurée au moyen d'une cellule de Warner-Bratzler d'un Instron 5542.
Pour évaluer l'acceptabilité par les consommateurs nous avons appliqué la méthode affective de la préférence en utilisant un "panel" de 60 consommateurs. Le group contenait autant d'hommes que de femmes et les trois tranches d'âge (< 25 ans, de 25 à 45 ans et > 45 ans) étaient représentées. Les deux typologies du produit ont été présentées, d'abord à tranche crue pour évaluer les caractéristiques visuelles liées à l'aspect et à la couleur, et après à tranche cuite (cuisson sur « grill plaque lisse » jusqu'à atteindre une température de 72°C à cœur), pour les estimations olfactives, gustative et de consistance dans la bouche (Corino et al., 2002). Les critères d'odeur, saveur, tendreté et jutosité ont été notés sur une échelle hédoniste de 1 (pas du tout satisfaisant) à 9 (tout à fait satisfaisant). Les tests ont été réalisés en conditions contrôlées, au laboratoire (UNI ISO 8589, 1990).
Les résultats ont été élaborés par analyse de la variance (SPSS Inc. Chicago, 2002) en incluant comme effets principaux dans le modèle le poids vif des porcs à l'abattage et l'effet juré pour les données sensorielles.

Résultats et discussion

La composition chimique de la longe est influencée par le poids vif à l'abattage. Les longes des porcs lourds présentent une teneur en matière sèche et en lipides supérieure à celle des porcs abattus à 120 kg PV (tableau 1), comme relevé par Candek-Potokar et al. (1998).
Les valeurs de luminosité (L*) ne changent pas avec le poids de la carcasse tandis que les index de la couleur rouge (a*) et du jaune (b*) ont été plus élevés ($p < 0.05$) dans le muscle des porcs lourds, en accord avec Beattie, et al. (1999) et Garcìa-Macìas et al. (1996). Cette influence du poids à l'abattage sur la couleur de la viande peut être expliquée par une augmentation du contenu en pigments dans la viande avec l'âge.
Dans l'évaluation visuelle de la tranche à cru, la couleur de la longe du porc léger a été préférée à celle du porc lourd (tableau 2). La préférence d'une viande plus claire à la place d'une viande plus foncée est en accord avec Fernandez et al. (1996). L'analyse de la préférence n'a pas donnée autres différences significatives.
Les pertes d'eau au ressuyage et à la cuisson et la dureté de la longe, évaluée par la force de cisaillement, ne sont pas influencées par le pois des porcs à l'abattage.

Tableau 1. Effet du poids vif à l'abattage sur la qualité de la longe du porc

	PV_{120}	PV_{160}	ETR[1]	Effets
Poids, kg	3,25	4,23	0,172	**
Matière sèche, %	25,85	27,07	0,227	**
Protéines, %	22,71	22,86	0,219	NS
Lipides, %	1,32	2,50	0,264	*
Cendres, %	2,88	3,32	0,226	NS
pH	5,86	5,76	0,046	NS
L*	48,34	47,08	0,846	NS
a*	5,13	6,89	0,400	*
b*	1,25	2,33	0,239	*
Pertes d'eau (%)				
- au ressuyage	4,05	3,46	0,312	NS
- à la cuisson	13,72	16,12	1,009	NS
Force de cisaillement, kg/cm^2	2,61	2,58	0,105	NS

[1] Ecart type résiduel
* P < 0,05 **P < 0,01

Tableau 2. Effet du poids vif à l'abattage sur les descripteurs considérés dans l'évaluation sensorielle.

Descripteurs	PV_{120}	PV_{160}	ETR[1]	Effets
Préférence	6,38	6,18	0,161	NS
Aspect	6,33	5,75	0,158	†
Couleur	6,28	5,48	0,173	*
Odeur	6,88	6,71	0,152	NS
Saveur	6,40	6,24	0,157	NS
Tendreté	5,73	5,78	0,181	NS
Jutosité	5,96	6,01	0,164	NS

[1] Ecart type résiduel
† P < 0,10 * P < 0,05

Conclusions

L'augmentation du poids vif à l'abattage montre une influence importante surtout sur les caractéristiques d'aspect de la tranche crue de la longe. Les analyses chimiques ont montré une réduction de la teneur en eau et une augmentation de la teneur en lipides.
Dans l'évaluation sensorielle la perception de la couleur, très importante dans le choix du consommateur au moment de l'achat, est résultée différente, et en effet la longe de porc lourd était plus rouge et plus jaune que celle de porc léger.
Notre étude ne confirme pas une préférence pour les échantillons contenant plus de lipides intramusculaires. Toutefois, la teneur en lipides intramusculaire est seulement un entre plusieurs facteurs de variation dans notre étude. Enfin il ne faut pas perdre de vue le fait que les longes étaient soumises au même temps de maturation.

Références bibliographiques

AOAC, 2000.
Beattie V. E., Weatherup R. N., Moss B. W., Walker N., 1999. Meat Sci., 52, 205-211.
Ĉandek-Potokar M., Źlender B., Lefaucher L., Bonneau M., 1998. Meat Sci., 48, 287-300.
Corino C., Magni S., Pagliarini E., Rossi R., Pastorelli G., Chiesa L. M., 2002. Meat Sci., 60, 1-8.
Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., Bernard P., Gilbert S., Sirami L., Malter D., 1996. Journées Rech. Porcine France, 28, 163-170.
Garcìa-Macìas J. A., Gispert M., Oliver M. A., Diestre A., Alonso P., Muñoz-Luna A., Siggens K., Cuthbert-Heavens D., 1996. Anim. Sci., 63, 487-496.
Peryam D.R., Pilgrim F.J., 1957. Food Tech., 11(9), 9-14.
SPSS, 2002. SPSS/PC+ Statistics 13.0. SPSS Inc., Chicago, IL.
UNI ISO 5495, 2001.
UNI ISO 8589, 1990.

CARACTERISATION DES QUALITES SENSORIELLES ET CHIMIQUES DU JAMBON D'ARDENNE IGP, EN RELATION AVEC LE PROCEDE DE FABRICATION

COLLARD C., SINDIC M., DEROANNE C.

Unité de technologie des Industries Agroalimentaires, FUSAGx,
Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgique

Introduction

Le jambon d'Ardenne est un jambon cru dont une des caractéristiques principales est le fumage. Il porte le label européen, depuis 1996, d' « Indication Géographique Protégée », lié au terroir, à la tradition, au savoir-faire, mais surtout à ses qualités sensorielles. Cependant, un audit de fabrication mené chez les producteurs a révélé un manque d'homogénéité, notamment pour le choix de la matière première et pour certaines étapes de fabrication (Hannecart, Deroanne, Sindic, 2004).
Les caractéristiques de la matière première sont importantes car elles déterminent en partie la qualité du produit fini. Le pH, la teneur en gras, qui limite les pertes au séchage, la qualité des gras sont importants à fixer afin de limiter les défauts de fabrication (Bosi et Russo, 2004).
Les étapes de fabrication sont aussi importantes à maîtriser. Lorsqu'il est mal maîtrisé, le salage peut amener à des teneurs en chlorures élevées. Le sel est un ingrédient essentiel contribuant à la capacité de rétention de l'eau (Guardia et al., 2006), il affecte les flaveurs et la texture du produit (Ruusunen et Puolanne, 2005). Cependant, les consommateurs demandent des produits de moins en moins salés pour des raisons de santé et de bien-être gustatif. Les producteurs de jambon d'Ardenne tendent à diminuer la teneur en chlorures dans le produit fini. Toutefois, elle est encore relativement élevée chez certains (résultats non publiés). Aussi, un séchage trop poussé peut amener des défauts de texture, suite à une protéolyse trop importante (Parolari et al., 1994).
L'étude actuelle a pour but de caractériser les typicités du jambon d'Ardenne IGP, de déterminer les critères d'appréciation du jambon d'Ardenne afin de les renforcer en optimisant le procédé de fabrication ainsi que les caractéristiques de la matière première. Actuellement, un critère d'acceptation du jambon d'Ardenne, actuellement consigné dans le cahier des charges, repose sur le rapport Humidité/Protéines, il est de 2,5.

Matériel et méthodes

Des cœurs d'Ardenne ont été prélevés aléatoirement chez différents producteurs, artisanaux, semi-industriels et industriels, et analysés au laboratoire. Au total, 9 productions différentes ont été étudiées. Une tranche, au centre du cœur, est prélevée pour analyses au laboratoire. Les teneurs en humidité, protéines, cendres, chlorures et matière grasse, sont déterminées selon les normes AFNOR. Les valeurs d'activité d'eau ont été prises avec l'appareil Aqualab Décagon CX3. Un jury de 10 experts a été sélectionné au sein de l'Unité et entraîné à évaluer les descripteurs d'aspect, d'odeurs, de goûts et de texture sur le jambon d'Ardenne. Un jury de consommateurs a été formé au sein de la Faculté. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel MINITAB.

Résultats et discussion

Analyses instrumentales
La teneur moyenne en humidité obtenue est de 51,1 ± 6,3 %. Ces différences peuvent être essentiellement liées à des temps de séchage différents. La teneur moyenne en chlorures dans le produit fini est de 5,8 ± 1,4 %. Ceci peut être expliqué par des techniques et des temps de salage différents appliqués par les producteurs. La valeur moyenne d'activité d'eau est de 0,91 ± 0.02. Cette dernière est corrélée positivement à la teneur en humidité (r=0,767), et négativement à la teneur en chlorures (r=-0,530).

Analyse sensorielle
La figure 1 donne les résultats de l'analyse en composants principaux obtenus avec les analyses sensorielles « experts ». L'intensité des saveurs est liée à la saveur salée, fumée et épicé. L'intensité des odeurs est liée positivement à l'odeur fumée et épicée, et négativement à l'odeur rance. La teneur en humidité est corrélée négativement à l'intensité des odeurs et des saveurs. Cela peut être expliqué par une concentration des molécules responsables des flaveurs dans une matière sèche plus importante. Elle est également corrélée négativement à la dureté. Il existe plus ou moins cinq groupes de jambons d'Ardenne, caractérisés par des descripteurs différents.

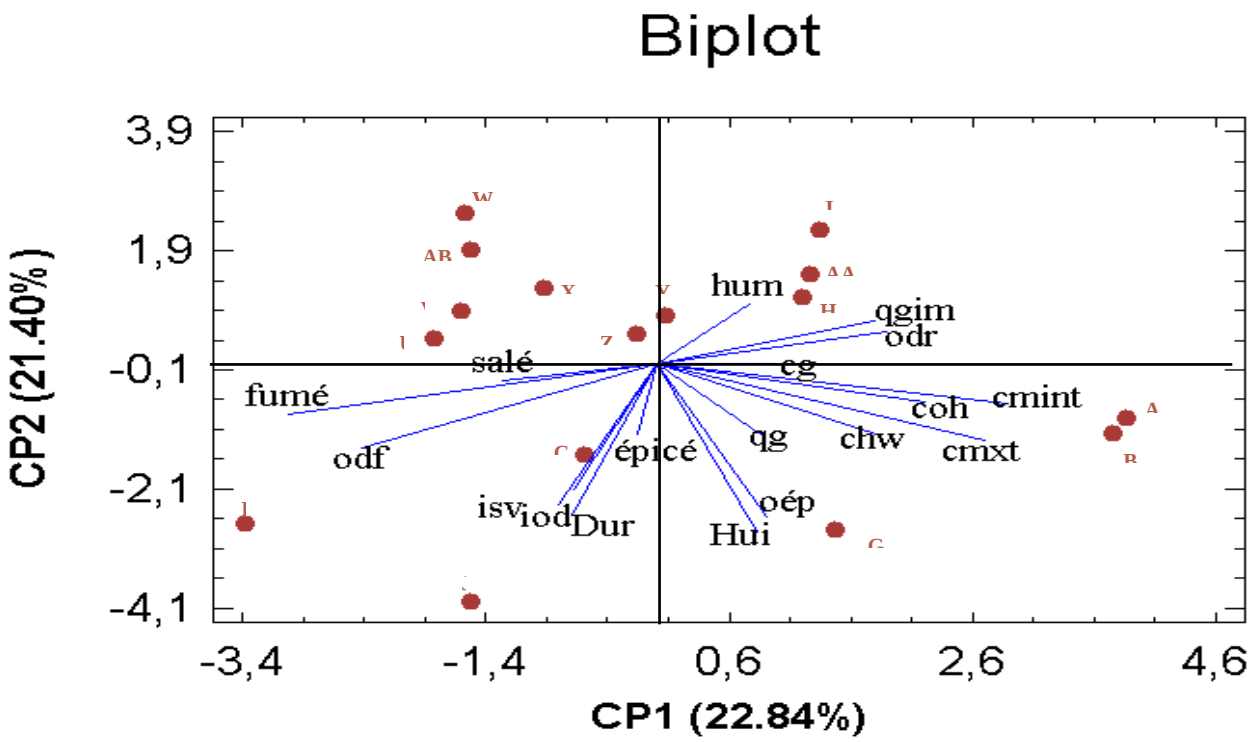


Figure 1 : Analyse des composants principaux

L'intensité de la saveur salée est corrélée positivement à la teneur en chlorures (r= 0.597). L'intensité des couleurs est corrélée négativement à la teneur en humidité (r=-0,404). Plus la matière sèche est importante, plus les pigments colorés y sont concentrés, ce qui renforce la couleur de la tranche.
De plus, l'appréciation générale du cœur d'Ardenne par le jury de consommateurs est liée à l'appréciation du caractère sec (r=0,466), de l'intensité des flaveurs (r=0,577), de l'odeur fumée (r=0,438), des goûts salé (r=0,424), fumé (r=0,438) et épicé (r=0,770). La teneur optimum en chlorures, appréciée par les membres du jury consommateurs, se situe entre 5 et 6 % du produit fini. Selon les consommateurs, plus l'activité de l'eau est élevée, moins l'intensité des saveurs est importante.
Il existe une relation positive entre l'intensité de l'odeur fumée et l'appréciation par le jury de consommateurs (r=0,750). L'appréciation du goût salé est corrélée positivement à l'appréciation du goût fumé (r=0,428). Un bon équilibre entre ces deux saveurs est donc un atout essentiel pour la qualité du produit. Quand l'intensité du goût fumé augmente, l'appréciation générale du produit augmente de la même manière.

Conclusions

Les caractéristiques mesurées des jambons d'Ardenne testés montrent une certaine hétérogénéité liée au caractère artisanal de l'origine des fabrications. Cependant, le caractère fumé est une « typicité » principale du jambon d'Ardenne qui en fait son originalité. Le caractère sec, la teneur en chlorures influencent également l'appréciation du produit fini. Dans ce cadre, des essais d'optimisation des procédés de fabrication ont été lancés chez des producteurs, afin d'étayer les résultats des analyses de caractérisation de la typicité du jambon d'Ardenne. Ils concernent l'influence du temps de séchage et de maturation sur les qualités organoleptiques du jambon d'Ardenne, et l'influence du temps et de la méthode de salage sur la teneur en chlorures dans le produit fini en comparaison avec l'appréciation du goût salé par les consommateurs.

Références bibliographiques

Bosi P., Russo V., 2004. Techni Porc, 27, 1, 5-9
Guardia M.D, Guerrero L., Gelabert J., Gou P., Arnau J., 2006. Meat Science, 73, 3, 484-490
Hannecart F., Deroanne C., Sindic M., 2004. Colloque scientifique et professionnel, Produits Alimentaires et Fermiers, Clermont-Ferrand 6-7 octobre 2004.
Parolari G., Virgili R., Schivazappa C., 1994. Meat Science, 38, 1, 117-122.
Ruusunen M., Puolanne E., 2005. Meat Science, 70, 3, 531-541.

Remerciements
Madame Solange Mahiat pour son aide technique
Région wallonne – Direction Générale de l'Agriculture pour son financement

ETUDE DE L'INCIDENCE D'ALKOSEL® SUR LA QUALITE DU JAMBON DE BAYONNE I.G.P.

ROBERT N.[1], BAULEZ M.[2], CHEVAUX E.[2], DUTERTRE C.[1]

[1] INPAQ, Consortium du jambon de Bayonne, Station Expérimentale Pyragena, 64410 Arzacq, France.
[2] Lallemand Animal Nutrition, 31702 Blagnac Cedex, France.

Introduction

Le sélénium est un oligo-élément essentiel qui joue un rôle physiologique de première importance. Constitutif de la glutathion peroxydase, enzyme capitale dans le système de protection anti-radicalaire, le sélénium est considéré comme l'un des plus puissants anti-oxydants de la cellule. Il est également indispensable à nos défenses immunitaires.

Sur le plan nutritionnel, différentes études ont vérifié le rôle protecteur du sélénium dans de nombreuses maladies alors que 30% des Français sont en déficit de sélénium. En tant qu'anti-oxydant intracellulaire, il intervient au cours de nombreux métabolismes. Il protège contre l'agression des radicaux libres capables d'endommager les membranes cellulaires et le noyau favorisant la cancérisation et le vieillissement.
Alkosel® est une levure pure enrichie au sélénium produite par la société Lallemand. L'objectif de cette étude est de vérifier l'incidence de la distribution de cet additif dans l'alimentation des porcs charcutiers sur la qualité nutritionnelle et sensorielle du jambon de Bayonne.

Matériel et Méthodes

L'expérimentation porte sur une bande de 280 porcs charcutiers nourris avec au minimum 50 % de maïs dans la ration en finition. Les rations sont iso-énergétiques et iso-séléniques (sélénium organique vs sélénite de sodium inorganique). La ration distribuée au lot test est enrichie en Alkosel® à raison de 0,4 ppm de sélénium total. Les animaux sont répartis en engraissement de manière à obtenir un dispositif expérimental équilibré du point de vue du sexe et de l'origine génétique (truie). Les deux porcelets du couple témoin / test sont orientés chacun dans une salle différente. La salle test contient le lot test avec sélénium organique (Alkosel®). L'autre salle contient le lot témoin avec sélénium inorganique.

Les jambons frais suivent le procédé de fabrication du jambon de Bayonne avec 9 mois de fabrication pour les jambons gauches *vs* 12 mois de fabrication pour les jambons droits. Le suivi des lots s'effectue tout au long de la durée de vie du jambon depuis l'abattage jusqu'à son conditionnement en fin de fabrication.

L'analyse colorimétrique sur la viande fraîche est réalisée avec le chromamètre Minolta CR310 muni d'une tête de lecture CR-300 sur une échelle de couleur internationale L*a*b* (système Lab). La composante L* traduit la notion de clarté de la couleur du muscle, allant du noir (0 %) au blanc (100 %). La composante a* traduit la composante rouge de la couleur. Ses valeurs vont de -60 (vert) à +60 (rouge). La composante b* traduit la composante jaune de la couleur. Ses valeurs vont de -60 (bleu) à +60 (jaune).
En fin de fabrication, des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur la partie maigre de la tranche : teneur en NaCl, humidité, activité de l'eau, taux de lipides, profil d'acides gras, teneur en fer héminique, indice de protéolyse, indice de TBA, teneur en sélénium. On détermine l'indice d'acidité et le profil d'acides gras du gras de couverture.
Des analyses sensorielles sont également effectuées sur le produit fini (tranches entières en position médiane) par un jury composé de sujets qualifiés qui travaillent selon la technique du profil sensoriel conventionnel. Ce jury est entraîné et travaille uniquement sur les produits de salaison. Ces analyses sensorielles permettent de caractériser objectivement des produits par évaluation d'intensité de sensation. Les différences éventuelles entre les produits sont ainsi déterminées. Pour chaque échantillon, le sujet doit remplir un questionnaire en évaluant les intensités des termes descriptifs caractérisant le jambon sec sur une échelle de réponse numérique discrète allant de 0 à 6. Les notes que les sujets attribuent pour chaque descripteur et pour chaque produit, permettent de calculer moyennes et écarts-types. Afin de mettre en évidence les caractéristiques sur lesquelles les produits se différencient significativement entre eux, des analyses de variances par descripteur sont réalisées.

Résultats et discussion

La matière première entrant en expérimentation est considérée comme homogène. Les carcasses expérimentales pèsent en moyenne 91 Kg (ET = 6 Kg), la TVM est égale à 61 % en moyenne (ET = 2 %). Les épaisseurs de muscle sont en moyenne de 60 mm (ET = 6 mm) pour le site M2 et de 70 mm (ET = 6 mm) pour le site M6. Les épaisseurs de gras sont en moyenne de 17 mm (ET = 2 mm) pour le site G1 et de 16 mm (ET = 3 mm) pour le site G2. Aucune différence significative n'est relevée entre les deux traitements expérimentaux.

Les 80 jambons sont pesés à chaque stade de la fabrication et le calcul des pertes à chaque étape (3,4 % en fin de salage, 19,6 % en fin de repos, 21,3 % après étuvage, 28,7 % en fin de séchage, 31,8 % après 9 mois d'affinage et 34,4 % après 12 mois d'affinage) ne met pas de différences significatives entre les traitements.
L'analyse du profil d'acides gras du gras de couverture avant mise en fabrication ne met pas de différence significative entre les 2 lots, tout comme l'analyse du profil d'acides gras du gras de couverture et de la partie maigre de la tranche en fin de fabrication.

	Moyenne	Ecart-type	Mini	Maxi	Amplitude
Poids frais (Kg)	10,1	0,7	8,5	11,7	3,2
Epaisseur de gras (mm)	14,5	2,8	10,0	22,0	12,0
pH	5,7	0,2	5,4	6,1	0,7
Echelle japonaise	3,6	0,7	2,0	5,0	3,0
L*	53,9	2,7	44,8	58,9	14,1
a*	19,1	1,9	15,7	24,8	9,2
b*	10,7	1,1	6,7	13,7	7,0

Tableau 1 : Caractéristiques des 80 jambons frais entrés en expérimentation.

Les résultats physico-chimiques obtenus après 9 et 12 mois de fabrication sont conformes aux caractéristiques inscrites au cahier des charges du jambon de Bayonne I.G.P. : la teneur en humidité est inférieure à 60 %, la teneur en chlorures est inférieure à 7,5 %. Les jambons des animaux nourris avec ALKOSEL® ont une teneur en sélénium significativement plus importante (0,325 mg/Kg vs 0,156 mg/Kg, P<0,01 % après 9 mois et 0,381 mg/Kg vs 0,172 mg/Kg, P<0,001 % après 12 mois) que les jambons des animaux témoins.

	9 mois de fabrication			12 mois de fabrication		
	Témoin	Alkosel®	Probabilité	Témoin	Alkosel®	Probabilité
Humidité	57,2	57,1	NS	56,0	56,0	NS
Lipides musculaires	4,1	4,4	NS	3,9	3,8	NS
Protéines	31,7	31,3	NS	32,7	32,6	NS
Indice de protéolyse	20,8	21,0	NS	23,3	23,3	NS
Collagène	1,0	1,3	*	1,0	0,9	NS (P=0,11)
Chlorures	5,8	5,3	NS	6,0	5,6	NS
Aw	0,914	0,923	**	0,906	0,908	NS
Fer héminique	10,3	10,5	NS	9,3	9,5	NS
Myoglobine	3117	3190	NS	2826	2879	NS
Indice de TBA	0,342	0,291	NS	0,139	0,130	NS
Indice d'acidité	26,9	25,7	NS	28,8	28,7	NS
Sélénium	0,156	0,325	**	0,172	0,381	***

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des jambons après 9 et 12 mois de fabrication. NS : non significatif ; * : P<0,05 % ; ** : P<0,01 %, *** : P<0,001 %.

L'analyse sensorielle réalisée après 9 mois d'affinage met en évidence que les jambons traités avec Alkosel® ont un gras moins large (1,42 +/- 0,79 *vs* 2,00 +/- 0,43, P<0,05) et une couleur plus rouge (3,67 +/- 1,15 *vs* 3,08 +/- 0,90, P<0,01) que les jambons témoins. Ils ont une trace rouge (0,25 +/- 0,45 vs 0,75 +/- 0,97) plus faible. Après 12 mois d'affinage, les jambons traités avec Alkosel® ont un gras moins large (1,67 +/- 0,78 vs 1,08 +/- 0,67, P<0,01). Ils sont plus moirés (0,67 +/- 0,78 *vs* 0,33 +/- 0,79, P<0,05) et ont une couleur plus hétérogène (2,25 +/- 0,87 *vs* 1,67 + /- 0,89, P<0,05). Ils ont toujours une couleur rouge plus forte même si cela tend à être significatif (P=0,053). Il n'y a pas de différence significative entre les jambons traités avec Alkosel® et les jambons témoins pour ce qui est des paramètres d'odeur, de texture et de goût aussi bien après 9 mois qu'après 12 mois de fabrication.

Conclusions

Les caractéristiques physico-chimiques telles que les teneurs en humidité, lipides et protéines ne sont pas modifiées par l'utilisation d'Alkosel®. Par contre, il y a une amélioration du contenu en sélénium des produits finis tels que le Jambon de Bayonne aussi bien après 9 mois qu'après 12 mois de fabrication. La couleur rouge est améliorée. Cette amélioration est d'autant plus importante que la durée de fabrication est courte. Les qualités sensorielles d'odeur, de texture et de goût ne sont pas modifiées.

QUALITE NUTRIONNELLE DES LIPIDES DU PATE DE CAMPAGNE

GUILLEVIC M.[1], BLOCHET J.E.[2], LE MINOUS A.E.[3], MOUROT J.[1]

[1] INRA - UMR SENAH, 35590 St-Gilles; [2] ZOOPOLE DEVELOPPEMENT, 2 rue J. Rostand, 22440 Ploufragan; [3] ADRIA DEVELOPPEMENT Creac'h Gwen 29196 Quimper Cedex

Introduction

La viande de porc et les produits transformés qui en contiennent ont une image négative dans le monde médical et dans certains médias. Le comportement des consommateurs vis-à-vis de ces produits s'en ressent. Si certains produits ont effectivement, de par leur fabrication, une teneur élevée en lipides (cas du salami avec près de 44 % de lipides, Warnants et col, 2001), de nombreuses autres préparations charcutières contiennent moins de lipides que leurs détracteurs le pensent.

Dans bien des cas, les critiques vis-à-vis de ces produits sont dues soit à un manque d'informations de la part des spécialistes de la nutrition humaine soit à l'utilisation des données erronées en provenance de tables de composition anciennes ou non représentatives des produits de nos régions.

Face à cette situation, le Programme Nutrition Santé en Bretagne a souhaité apporter des informations fiables aux consommateurs, aux nutritionnistes et aux industriels sur la qualité nutritionnelle de certains produits de charcuterie. La grande diversité de ces préparations ne permet pas de toutes les analyser en même temps. Il a donc été décidé d'initier cette étude par un produit de large consommation: le pâté de campagne.

4 entreprises bretonnes se sont mobilisées pour participer à cette étude. Par souci de confidentialité, elles apparaîtront dans ce texte sous des lettres de A à D.

Matériels et méthodes

Les différentes pièces entrant dans la composition de ces pâtés sont sensiblement équivalentes entre les entreprises.

Dans chaque entreprise et pour chacune des pièces, 3 prélèvements de tissus ont été effectués dans les bacs avant préparation de la mêlée. Après la mêlée, 3 prélèvements ont été effectués à différents niveaux du bac. Après cuisson, des échantillons ont été prélevés dans 3 pâtés différents issus de la mêlée initiale.

Les lipides ont été extraits par la méthode de Folch et col (1957) basée sur une extraction à froid par un mélange de solvants méthanol:chloroforme. Les acides gras ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse après dérivation au BF3 méthanol (Morrison et Smith 1964). Le cholestérol a été dosé selon la réaction de Liebermann (selon Rioux et col, 2005).

Ces résultats seront complétés ultérieurement par des analyses de protéines, d'acides aminés, de minéraux et de vitamines sur les produits finis.

Résultats et discussions

Tableau 1: teneur en lipides des pièces, de la mêlée et du pâté après cuisson (% de produits frais)

Société	A		B		C		D		Moyenne	
Morceaux										
Gorge	20,8[a]	2,4[b]	25,1	4,3	31,6	3,1	42,0	14,8	29,8	9,2
Foie	3,8	0,6	3,6	1,7	3,9	0,3	4,0	0,4	3,8	0,2
Couenne	62,9	3,8	11,6	3,0	16,7	2,7	15,0	4,2	26,6	24,2
Crépine	34,6	5,8	44,3	7,3					39,4	6,8
Gras			48,2	8,5	42,5	16,1			45,4	4,04
Mêlée	23,2	1,5	21,5	1,1	20,6	6,7	23,2	5,7	22,2	1,3
Pâté	20,8	1,3	21,1	1,2	20,0	1,8	24,8	3,9	21,7	2,1

a: moyenne; b: écart-type

Pour une même pièce au sein d'une même entreprise, la variabilité des valeurs des lipides est faible et tout à fait conforme à ce qui est observé d'une manière générale en biologie, soit entre 5 et 15 % (tableau 1). Toutefois, et à l'exception du foie, il existe, suivant les entreprises, une grande variabilité entre les morceaux qui portent le même nom: les entreprises n'ont pas la même définition des pièces. Le terme gorge est utilisé indifféremment pour des pièces dont la valeur en lipides varie de 18,1 à 55,5 % et pour la couenne de 9,5 à 67,5 à %, La gorge possède donc plus ou moins de tissu musculaire et la couenne plus ou moins de tissu adipeux selon le cahier des charges de chaque entreprise.

Pour les mêlées, les variations individuelles sont beaucoup plus faibles entre les entreprises ce qui prouvent donc que chaque entreprise connaît bien les matières premières qu'elle utilise. Dans le produit fini, les valeurs extrêmes varient entre 17,9 et 27,3 avec une valeur moyenne de 22%. Ces valeurs apparaissent de près de 25% inférieures aux valeurs indiquées dans les tables Regal.

Tableau 2: teneur en cholestérol des pâtés avant et après cuisson (mg /100 g de produit)

société	A		B		C		D		Moyenne	
	Mêlée	Pâté	Mêlée	Pâté	Mêlée	Pâté	Mêlée	Pâté	Mêlée	Pâté
Cholestérol	175[a]	143	126	115	102	132	128	134	133	130
	9[b]	4	5	2	1	3	5	10	30	11

(a) valeur moyenne; (b) écart-type

Les teneurs en cholestérol varient selon les fabrications, mais globalement les teneurs ne sont pas si élevées que ce l'on attribue d'ordinaire à ce type de produits. La valeur moyenne est proche de celle annoncée dans des tables de composition Regal.

Tableau 3: Composition en acides gras des produits avant et après cuisson (expression en % des AG identifiés)

Sociétés		AGS	AGM	AGPI	n-3	Rapport n6/n3
A	mêlée	39,0 ± 0,5	47,2 ± 0,5	13,6± 0,01	1,25 ± 0,003	9,5 ± 0,01
	pâté	40,4 ± 0,3	47,3 ± 0,2	12,2± 0,6	0,97 ± 0,09	11,1 ± 0,4
B	mêlée	38,4 ± 0,2	48,5 ± 0,0	13,0 ± 0,1	1,16 ± 0,06	9,8 ± 0,4
	pâté	38,1 ± 0,1	48,0 ± 0,0	13,7 ± 0,1	1,32 ± 0,14	9,1 ± 1,0
C	mêlée	38,3 ± 0,1	48,1 ± 0,3	13,5 ± 0,2	1,18 ± 0,06	9,9 ± 0,3
	pâté	38,8 ± 0,6	48,9 ± 0,5	12,2 ± 1,1	1,02 ± 0,15	10,4 ± 0,5
D	mêlée	39,3 ± 0,5	46,9 ± 0,5	13,6 ± 0,03	1,23 ± 0,004	9,7 ± 0,03
	pâté	39,7 ± 0,2	47,1 ± 0,2	13,0 ± 0,04	1,07 ± 0,05	10,7 ± 0,5
Moyenne	mêlée	38,7 ± 0,4	47,7 ± 0,6	13,4 ± 0,2	1,2 ± 0,04	9,7 ± 0,2
	pâté	39,3 ± 0,8	47,8 ± 0,7	12,8 ± 0,6	1,09 ± 0,13	10,3 ± 0,7

La composition moyenne en acides gras des pâtés est de 40 % d'acides gras saturés, 47- 48 % d'acides gras monoinsaturés et 12-13 % d'acides gras polyinsaturés (tableau 3). Les valeurs des rapports n-6/n-3 varient de 9 à 13, ce qui est une valeur conforme à celles trouvées chez les porcs qui n'ont pas reçu d'acides gras oméga 3 dans leur alimentation (Mourot et Hermier, 2001). La cuisson a peu ou pas modifié les compositions en acides gras.

Conclusion

Ce travail sur les lipides des pâtés sera à compléter par les autres données de composition chimique.

Comme tous les autres produits alimentaires, les pâtés présentent des avantages et des inconvénients du point de vue nutritionnel. Lorsque les recettes contiennent du foie, ils peuvent représenter une source de fer assimilable intéressante. Toutefois on peut retenir que les pâtés ne vont pas apporter plus de lipides que certains morceaux gras de viande (plat de côtes chez le bovin, cuisse avec peau chez la poule, poitrine chez le porc). Si les pâtés sont consommés selon les règles de recommandation des diététiciennes (40 g par ration, soit 8 à 10 g d'apport lipidique et 2 fois par semaine) ils peuvent donc faire partie de notre alimentation sans être accusés de nombreux maux en particulier par rapport aux maladies cardiovasculaires.

Références Bibliographiques

Folch J., Lees M., Sloane-Staneley G.H., J. Biol. Chem., 233(1957), 311-320.
Morisson W. R., Smith L. M., J, Lipid Res., 5(1964), 600-608.
REGAL: Répertoire général des aliments. Table de composition. 2e édition, revue et augmentée, Favier J.C., Ireland-Ripert J., Toque C., Feinberg M.
Rioux V., Catheline D., Bouriel M., Legrand P., Reprod. Nut. Dev., 45 (2005), 599-612.
Mourot J., Hermier D., Reprod. Nutr. Dev., 41 (2001), 109-118.
Warnants N., Van Oeckel M. J., De Paepe M., Pig News Information 22 (2001) 107N-113N.

Remerciements: les auteurs remercient le Programme Nutrition Santé Bretagne pour son soutien financier et les entreprises Elquin, Onno, Monique Ranou et SBS Jean Caby pour avoir bien voulu mettre à disposition les échantillons analysés.

EFFET DE LA CUISSON OU DE LA TRANSFORMATION SUR LA TENEUR EN ACIDES GRAS N-3 DE QUELQUES PRODUITS ANIMAUX.

MOUROT J. [1], GUILLEVIC M.[1], MOUNIER A[1], KERHOAS N. [2],WEILL P[3].
[1] INRA - UMR SENAH, 35590 St-Gilles: [2] Association Bleu Blanc Coeur 35210 Combourtillé;
[3] VALOREX SA, 35210 Combourtillé

Introduction

Les procédés industriels de transformation des produits animaux peuvent modifier la composition en acides gras des produits finis par rapport à la composition de la matière première. De nombreuses données sont disponibles sur la composition chimique globale du produit, mais il y a peu d'informations disponibles sur le devenir des acides gras au cours de la transformation ou de la conservation. De plus, le procédé de préparation va aussi modifier la teneur en acides gras du produit initial, par exemple la cuisson à la vapeur contre une friture avec plus ou moins de panure va entraîner une modification profonde du rapport des acides gras entre eux (Bourre 2003).

On sait aussi que la durée de congélation peut altérer la teneur en oméga 3 des produits, c'est par exemple le cas des poissons. Cette teneur peut décroître de plus de la moitié de la valeur initiale après 6 mois de congélation. Quand on sait que la DLC est de 2 ans après la congélation, la teneur en acides gras n-3 va donc fortement varier en fonction de la date de consommation.

Avec l'émergence des produits animaux issus de la filière lin qui ont un accroissement naturel de leur teneur en acides gras n-3, la question du devenir de ces acides gras après cuisson ou transformation est maintenant posée.

Dans le cadre du Programme Nutrition Santé Bretagne, et en partenariat avec des industriels de l'alimentation animale et de la transformation, des études ont été mises en place au laboratoire pour suivre le devenir des acides gras n-3 au cours de divers procédés de transformation. Dans un premier temps, la cuisson a été étudiée, mais des travaux sont en cours sur un grand nombre de produits de charcuterie. Les résultats préliminaires sont maintenant présentés et concernent les côtes et la saucisse de porc, le râble de lapin avant et après cuisson et l'effet du séchage sur le saucisson.

Matériels et méthodes

Tous les échantillons analysés ont été caractérisés avant et après transformation. Pour chaque groupe de produits, une comparaison a été faite entre des animaux issus d'une production standard et une production issue de la filière lin.

Les lipides ont été extraits par la méthode de Folch et col (1957) basée sur une extraction à froid par un mélange de solvants méthanol:chloroforme. Les acides gras ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse après dérivation au BF3 méthanol (Morrison et Smith 1964).

Les côtes de porcs et les saucisses ont été cuites dans un grill ménager, et le râble de lapin dans un four familial à chaleur tournante. Les temps et température de cuisson ont été appliqués selon les recommandations des constructeurs de ces appareils. Pour le porc, la totalité de la viande a été récupérée et broyée pour faire les dosages. Pour le lapin, un morceau de muscle *longissimus dorsi* a été prélevé avant et après cuisson.

Résultats et discussions

Tableau 1: Effet de la cuisson sur la teneur en acides gras de la côte de porc (n= 12 /traitement) et de la saucisse (n=6/traitement). Expression en mg d'AG par 100 g de produits.

		Côtes de porc				Saucisses			
	Stade	témoin		lin		témoin		lin	
Lipides totaux	Avant	10.90(a)	1.08(b)	11.42	0.74	15.0a	1.9b	17.4	0.7
(%)	Après	12.80	1.64	13.33	1.21	18.3	2.8	19.4	1.0
AGS	Avant	4080	472	4091	362	4907	741	5194	802
	Après	4729	808	4742	483	6008	1327	5876	486
AGM	Avant	3766	543	4139	285	5859	1017	5663	746
	Après	4299	862	4689	376	7269	1689	6519	499
AGPI	Avant	1425	192	1844	234	1354	280	2122	194
	Après	1678	207	2149	313	1572	207	2419	139
n-6	Avant	1274	169	1389	190	1169	240	1614	143
	Après	1504	182	1620	253	1349	183	1781	74
n-3	Avant	99	19	395	39	134	31	439	50
	Après	117	22	464	52	163	18	530	28
n-6/n-3	Avant	13.0	1.6	3.5	0.2	9	1	4	0
	Après	13.0	1.9	3.5	0.2	8	1	3	0

(a) valeur moyenne; (b) écart-type; AGS: AG saturés; AGM: AG moninsaturés; AGPI: AG polyisanturés.

Globalement on constate une augmentation de la teneur en lipides des produits après cuisson, ceci est une conséquence de la perte en eau. Elle est de près de 30 % pour la côte de porc, de 22% pour la saucisse (tableau 1) et elle est la plus importante pour la viande de lapin avec près de 100 % (tableau 3). Pour lapin ceci peut s'expliquer par le fait que nous avons travaillé sur un muscle paré qui, par nature, contient peu de lipide et donc beaucoup d'eau. Il peut y avoir également une pénétration de lipides venant du tissu adipeux contenu dans l'ensemble du râble. Le séchage augmente également fortement la teneur en lipides du saucisson, près de 100 % (tableau 4).

Tableau 3: Effet de la cuisson sur la teneur en acides gras du râble de lapin (n= 10 /traitement).

		témoin		lin	
LT (%)	avant	1.18(a)	0.26(b)	1.02	0.08
	après	2.22	0.23	2.16	0.35
AGS	avant	262	139	355	50
	après	631	127	585	234
AGM	avant	229	107	265	48
	après	544	101	463	205
AGPI	avant	259	71	304	60
	après	397	102	483	183
n-6	avant	231	65	243	44
	après	347	88	369	137
n-3	avant	26	10	59	16
	après	47	14	111	46
n-6/n-3	avant	10	1	4	0
	après	8	1	3	0

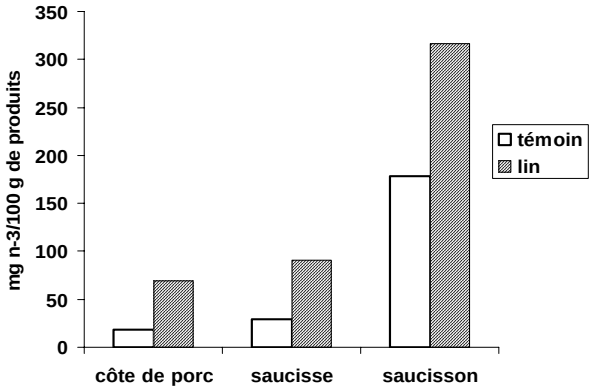
Tableau 4: Effet du séchage sur la teneur en acides gras du saucisson (n= 6 /traitement).

		témoin		Lin	
LT (%)	avant	11.40	0.46	15.65	0.63
	après	23.78	0.95	24.69	1.14
AGS	avant	3484	149	4463	213
	après	6341	250	6628	408
AGM	avant	4113	176	5601	256
	après	6341	290	7662	470
AGPI	avant	1420	61	2326	100
	après	2441	112	3044	188
n-6	avant	1262	53	1571	93
	après	2113	97	1859	115
n-3	avant	155	15	746	37
	après	301	28	1107	68
n-6/n-3	avant	8	0	2	0
	après	7	0	2	0

(a) valeur moyenne; (b) écart-type. Les teneurs sont mg d'AG pour 100 g de produits.

Pour tous les produits étudiés, la quantité d'acides gras oméga 3 est augmentée par les procédés de préparations utilisées dans cette étude. Le gain est même loin d'être négligeable après transformation (figure 1)

Figure 1: Gain de la teneur en acides gras n-3 (mg par 100 g de produit) après transformation des produits, comparaison avec la filière de production des animaux (standard ou lin).



Cette augmentation qui est réelle, ne veut cependant pas dire qu'il n'y a pas d'oxydation des acides gras n-3 au cours de la transformation. Il faudrait s'en assurer par la mesure des produits oxydés, mais on peut quand même penser qu'elle est réduite, surtout quand les animaux issus de la filière lin ont reçu un complément d'anti-oxydants dans leur alimentation comme ceci est fortement suggéré.

Conclusion

Cette étude préliminaire sera à compléter par un plus grand nombre d'analyses d'échantillons et par une plus grande diversité de produits et de type de transformations. Mais à ce stade, aucun élément ne permet de dire que les acides gras de la famille n-3 disparaissent au cours de la cuisson comme ceci est souvent rapporté à tort.

L'introduction de graines de lins dans l'alimentation des animaux permet donc d'augmenter de façon notable la teneur en acides gras n-3 dans les produits animaux et ces acides gras seront bien retrouvés dans l'assiette du consommateur.

Références Bibliographiques

Bourre J.M., O.C.L., 5 (2003), 405-424
Combe N., Méd. et Nut. 39 (2003), 9-14
Folch J., Lees M., Sloane-Staneley G.H., J. Biol. Chem., 233(1957), 311-320.
Morisson W. R., Smith L. M., J, Lipid Res., 5(1964), 600-608.

EFFETS DE LA CONSERVATION DE LA VIANDE BOVINE SUR LES TENEURS EN DIFFERENTS MICRONUTRIMENTS D'INTERET POUR L'HOMME.

SAVARY-AUZELOUX I.[1], ORTIGUES-MARTY, I.[1], BAUCHART, D.[1], THOMAS, E.[2], SCISLOWSKI, V. [2], PEYRON, A.[2], DURAND D.[1]

[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Centre de Clermont-ferrand-Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle ; [2]ADIV, 63039, Clermont-Ferrand.

Introduction

Les changements des modes de distribution et des habitudes d'achat des consommateurs ont entraîné ces dernières années le développement et la généralisation de nouvelles pratiques dans la filière viande. Parmi celles-ci, la maturation de la viande sous vide est préférée à la maturation en carcasse afin de diminuer les coûts de stockage. D'autre part, la vente de viande fraîche en grande surface s'étant fortement développée, de nouveaux types de conditionnement sont apparus avec l'utilisation d'atmosphères modifiées (O2 / CO2 : 70% / 30 % ou 80% / 20%) allongeant la date limite de consommation (10 j) et maintenant la couleur rouge vif des viandes. Enfin, la congélation est également pratiquée actuellement à grande échelle aux différentes étapes de transformation des produits carnés.
Cependant, ces pratiques sont susceptibles d'altérer certains micronutriments de la viande bovine d'intérêt pour l'homme tel que la vitamine B12, la carnosine et l'acide linoléique conjugué (CLA). La viande (et en particulier la viande de ruminants) est en effet une source importante en vitamine B12 (47 à 112% des apports journaliers) participant à la prévention d'anémies mégaloblastiques et de maladies neurologiques (Ortigues-Marty et coll, 2006). La carnosine est également fortement présente dans les muscles de bovins. Elle a un pouvoir antioxydant (Chan & Decker, 1995). Enfin, les CLA sont très présents dans les produits de ruminants (lait et viande, Chin et al, 1992) et ont des propriétés potentiellement bénéfiques pour la santé humaine (lutte contre le cancer, l'athérosclérose…) (Belury et coll, 2002).

Matériels et Méthodes

Les viandes étudiées sont issues de vaches charolaises âgées de 4 à 5 ans. Les effets de deux types de maturation ont été comparés sur de l'entrecôte (muscle gras) et du cœur de rumsteck (muscle maigre): la maturation à 0/3°C en carcasse à l'abattoir (5 jours) et sous vide (10 jours). Ces temps de maturation correspondent aux pratiques courantes dans l'industrie. Ces données sont comparées à un « témoin » prélevé 2 jours post mortem. Deux types de conditionnement à 0/4°C ont été testés sur des viandes préalablement maturées 10 jours sous vide ou 5 jours en carcasse: conditionnement sous film étirable perméable aux échanges gazeux pendant 5 jours (SF) ou sous atmosphère (70% O_2, 30% CO_2) pendant 11 jours (SAM). Les modes de conditionnement ont été réalisé sur la noix d'entrecôte (NE), le cœur de rumsteck (CR), l'aiguillette baronne (AB) et l'aiguillette de rumsteck (AR). Enfin, l'impact de la congélation a été testé sur des viandes (E et CR) congelées à -20°C pendant 30, 135 et 270 jours. Les échantillons de viandes ainsi obtenus sont broyés à l'azote liquide et conservés à -20°C jusqu'aux analyses.
La vitamine B12 « vraie » (biologiquement active) est dosée par méthode radioisotopique (kit Simultrac SBN) après homogénéisation des muscles dans un tampon acétate (Ortigues et coll, 2006). La carnosine est extraite des viandes après précipitation à l'acide sulfosalicylique (et ajout d'homocarnosine comme standard interne). Les acides aminés libres et peptides (dont la carnosine) extraits sont ensuite convertis en dérivé phtalaldehyde pour permettre leur séparation par HPLC (phase inverse) et les rendre détectables par fluorimétrie. La teneur en CLA de la viande est déterminée par chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire très polaire à haute définition en présence d'un standard interne (C19 :0) ajouté à la viande avant les étapes d'extraction et de purification des acides gras (Bauchart et coll, 2005) Les résultats ont été analysés par ANOVA selon un schéma factoriel et la procédure Proc GLM de SAS.

Résultats et discussion

Vitamine B12 : Les teneurs en vitamine B12 de trois muscles (CR, NE et E : de 5,7 à 14,9 ng/g tissu frais) sont proches de celles mesurées sur des muscles à tendance glycolytiques (Ortigues-Marty et coll, 2006). Les différences entre muscles sont probablement liées à des différences de métabolisme musculaire. La durée de maturation sous vide (2 vs 10 j) et le mode de conditionnement des viandes (témoin vs SF vs SAM) n'ont aucun effet sur les concentrations en vitamine B12. De même, la durée de maturation en carcasse ne réduit pas non plus la teneur en vitamine B12. Une baisse significative (-48%, $P<0.05$) est néanmoins constatée avec l'entrecôte après 30 jours de congélation mais reste stable ensuite entre 30 et 270 jours (pour E et CR). Ces résultats n'ayant pas été rapportés dans la bibliographie (Mogens, 1984), ils devront être confirmés sur un nombre plus important d'animaux, l'hétérogénéité de l'entrecôte pouvant en partie expliquer la différence constatée.
Carnosine : Les concentrations en carnosine musculaires obtenues sont conformes à la bibliographie (20 à 60 µmol/g de muscle frais) (Chan et Decker, 1995). Comme pour la vitamine B12, les concentrations en carnosine varient avec le type de muscle en relation également avec leur activité métabolique, c'est-à-dire plus élevées dans les muscles glycolytiques (pouvoir « tampon » cellulaire) que dans les muscles oxydatifs. Ceci est cohérent avec une concentration supérieure mesurée dans le cœur de rumsteck par rapport à la noix d'entrecôte (Talmant et Monin, 1986). Les données sur l'entrecôte sont plus difficiles à interpréter à cause de l'hétérogénéité métabolique de ce muscle. La maturation sous vide (2 vs 10 jours) n'a aucun effet sur les concentrations en carnosine. Suite à 10j de maturation sous vide, la conservation SF ou SAM n'affecte pas les concentrations en carnosine. Par contre, lorsque la viande est préalablement

maturée en carcasse, le conditionnement SF ou SAM altère significativement les teneurs en carnosine tissulaires (-37%, P<0,01 et -41%, P<0.01 entre le conditionnement SF et SAC et le témoin pour NE et CR respectivement, **Figure 1**).

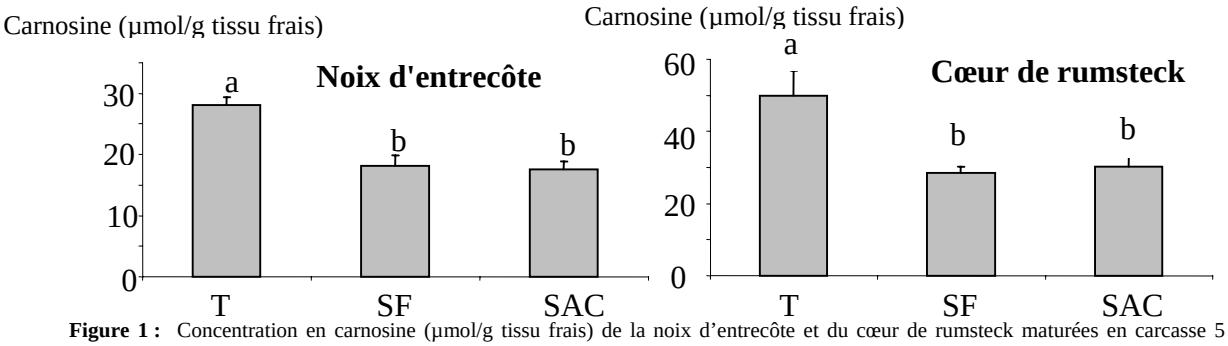


Figure 1 : Concentration en carnosine (µmol/g tissu frais) de la noix d'entrecôte et du cœur de rumsteck maturées en carcasse 5 jours (T) puis conditionnée sous film pendant 5 jours (SF) ou sous atmosphère contrôlée (70% O_2, 30% CO_2) pendant 10 jours (SAC).

Les effets du conditionnement SF ou SAM, suite à une maturation en carcasse, ont été réalisés sur le CR et la NE alors que dans le cas de la maturation sous vide, cet effet a été testé sur le CR et l'E. Les différences de réponse aux conditionnement (SF ou SAM) suite à une maturation en carcasse d'une part et sous vide d'autre part peut donc s'expliquer par l'utilisation de muscles différents dans les deux situations. Cependant, on peut également supposer que lors de la maturation en carcasse (à la différence de la maturation sous vide), un développement bactérien peut se mettre en place et participer, lors du conditionnement SF ou SAM, à la destruction de la carnosine. Enfin, la carnosine n'est pas affectée par la congélation et le taux de carnosine reste constant même après 270 jours de congélation, ce qui est conforme à des données obtenues dans d'autres études (Savary-Auzeloux et coll, résultats non publiés).

CLA : Les teneurs en CLA (90% sous forme de 9cis,11trans 18 :2) des divers muscles étudiés sont conformes à la bibliographie (0,5 à 1,3% des acides gras (AG) totaux) (De La Torre et coll, 2006). La maturation sous vide ou en carcasse n'affecte pas les teneurs en CLA, même lorsque la viande est riche en lipides (E). Par contre, alors que le conditionnement sous film ou sous atmosphère n'influe pas sur la teneur en CLA de la viande préalablement maturée sous vide, il induit une diminution de -5% (P<0,001) lorsque la viande est conditionnée sous film après une maturation en carcasse (**Tableau 1**). Cette diminution est parallèle à celle des AG polyinsaturés (AGPI) n-3 et n-6, ce qui suggère un risque possible pour ces AGPI avec le conditionnement sous film. Par contre, l'absence de perte de CLA avec le conditionnement sous atmosphère s'oppose à la perte observée des AG polyinsaturés n-3 et n-6, ce qui laisse supposer une meilleure résistance à la peroxydation des AGPI conjugués (CLA) que des AGPI non conjugués (n-3 et n-6) (Bauchart, données non publiées).

Conditionnement	T	SF	SAC	SEM	Effet conditionnement
CLA (% AG totaux)	1,10	1,05	1,13	0,45	0,0001

Tableau 1 : Influence du mode de conditionnement (témoin T, sous film SF, sous atmosphère contrôlée SAC) sur la teneur en CLA (% des AG totaux) de la noix d'entrecôte maturée préalablement 5 jours en carcasse.

Enfin, la durée du stockage à -20°C a peu d'effet sur la teneur en CLA dans la noix d'entrecôte pour une durées de l'ordre de 135 jours mais une perte de CLA de 9% est constatée après 270 jours de stockage à -20°C.

Conclusion

Les micronutriments testés dans cette étude (Vitamine B12, carnosine et CLA) résistent globalement bien aux divers modes de traitements de la viande bovine. Cependant, les teneurs en carnosine sont diminuées lors du conditionnement sous film et sous atmosphère modifié mais uniquement lorsque la viande a été préalablement maturée en carcasse alors que les CLA sont sensibles uniquement au conditionnement sous film et à une période longue de congélation.

Bibliographie

Bauchart, D., Gladine, C., Gruffat, D., Leloutre, L., Durand, D. 2005. EAAP n°112, Wageningen publis., pp 431-436.
Belury, M.A. Annu. Rev Nutr. 22, 505-531.
Chan, K.M., Decker, E.A. 1994. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 34, 403-426.
Chin, S.F., Liu, W., Storkson, J.M., Ha, Y.L., Pariza, M.W. 1992. J. Food Comp. Anal. 5, 185-197.
DeLaTorre, A., Gruffat, D., Durand, D., Micol, D., Peyron, A. Scislowski, V., Bauchart, D. 2006 Meat Sci. 73, 258-268
Mogens J. 1984. Merck index, 11th edition, Academic press London.
Ortigues-Marty, I., Micol, D., Prache, S., Dozias, D., Girard, C.L. 2005. Reprod. Nutr. Dev. 45, 453-467.
Ortigues-Marty, I., Thomas, E., Preveraud, D., Girard, C.L., Bauchart, D., Durand, D., Peyron, A. 2006. Meat Sci. 73, 451-456.
Talmant, A., Monin, G., Briand, M., Dadet, M., Briand Y. 1986. Meat Sci. 18, 23-40.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de INTERBEV/OFIVAL (Contrat MCQN - 2005).
Les auteurs remercient le personnel technique de NEM/URH, de l'ADIV et de l'Atelier d'Analyse Nutritionnelle des Viandes pour leur participation à la préparation et à l'analyse des échantillons.

IMPACT DE DIFFERENTS MODES DE CUISSON DE LA VIANDE BOVINE SUR LES PROCESSUS DE PEROXYDATIONS LIPIDIQUES

DURAND D.[1], GRUFFAT D[1]., ORTIGUES-MARTY I.[1], SAVARY-AUZELOUX I.[1], THOMAS E.[2], PEYRON A.[2], BAUCHART D.[1]

[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Centre de Clermont-Ferrand-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle ; [2]ADIV, 63039, Clermont-Ferrand.

Introduction

La peroxydation des lipides est une des causes majeures de la détérioration de la qualité des produits carnés crus ou cuits pendant leur stockage sous forme réfrigérée ou congelée. En effet, les produits de l'oxydation des lipides ont été associés à une diminution de la flaveur, à l'apparition d'odeurs désagréables (rance), à la perte de couleur et peuvent affecter la valeur santé de la viande en générant des produits toxiques (Gandemer et al., 1999). Une seule étude menée par Badiani et al. (2002) permet une comparaison de différents types de cuisson sur la peroxydation des lipides de la viande. Ses résultats indiqueraient que la température lors de la cuisson ainsi que sa durée pourraient influencer la peroxydation des lipides de la viande. Par ailleurs, nous avons montré que la durée de maturation mais surtout le type de maturation (sous vide) pouvaient altérer de façon significative l'apparition de produits de peroxydation et diminuer les réserves en antioxydants (communication D Durand et al., JSMTV 2006). De plus, la vitamine E qui joue un rôle essentiel dans la prévention des processus de peroxydation est connue pour être sensible à la chaleur donc aux conditions de cuisson des viandes (Bramley et al, 2000) ou de stérilisation (Kojima, 1998) mais également à la lumière et à la présence d'oxygène donc aux conditions de maturation et stockage de la viande.

Dans ce contexte, nous avons mis en place une étude visant à mesurer l'impact de plusieurs types de cuisson en fonction des conditions de maturation appliquées avant cuisson (3 ou 14 jours sous vide) sur les processus de peroxydation lipidique.

Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée sur 3 types de viande (entrecôte, rumsteck et paleron) provenant de différents types d'animaux afin d'être plus représentatif de l'ensemble des viandes consommées en France [bouvillons limousins (n=4), génisses charolaises (n=4), vaches de réforme charolaises (n=4) ou vaches de réforme montbéliardes (n=4)]. Après découpe des carcasses le lendemain de l'abattage, les viandes étaient maturées 3 ou 14 jours sous vide puis cuites selon différentes procédures (entrecôte, poêlée ou grillée ; rumsteck, frit ou rôti ; paleron, braisé). La concentration en vitamine E a été déterminée par chromatographie liquide haute pression, celle en malondialdéhyde (MDA) par HPLC et le statut en antioxydant (SAO) par spectrophotométrie sur chaque échantillon avant et après cuisson.

Les résultats présentés et analysés se rapportent uniquement aux teneurs exprimées par rapport à la matière sèche de façon à ne pas intégrer la perte en eau survenant au cours de la cuisson. L'analyse statistique réalisée a permis de tester l'influence de la cuisson, du mode de cuisson et de la durée de maturation au sein de chaque muscle. Pour ce faire, de nouvelles variables indicatives de l'influence de la cuisson ont été calculées, il s'agit des différences "cuit" -"cru". Des analyses ont ensuite été réalisées de façon distincte pour chaque muscle, en utilisant ces nouvelles variables calculées ("cuit" -"cru"). Tout d'abord, l'influence de la cuisson a été analysée en testant si la différence "cuit" -"cru" était significativement différente de zéro. Ensuite, les effets 'mode de cuisson' et 'durée de maturation', avec toutes les interactions associées, ont été introduits comme facteurs principaux du modèle testés par la variance 'intra-animal'. Ces effets ont aussi été analysés par la Procédure de Mesures Répétées du Proc GLM de SAS, afin de tenir compte de la corrélation entre les données.

Résultats - Discussion

La cuisson diminue de façon plus ou moins importante la teneur en vitamine E et ceci pour les trois viandes étudiées, les pertes les plus importantes étant enregistrées pour les cuissons longues comme le paleron braisé (2h15 à 80°C) (Tableau 1). Il semble également que cette perte de vitamine E soit plus importante après une maturation de 14j. Par ailleurs, le statut en antioxydants est également diminué significativement pour tous les types de cuisson, ce résultat pouvant être directement relié aux pertes en vitamine E, principal antioxydant lipophile. Cependant, contrairement à la vitamine E, nous n'observons pas de différence d'intensité de réponse en fonction de la durée de cuisson ce qui laisse supposer que cette diminution en SAO est liée à d'autres pertes que celle de vitamine E, la dénaturation des protéines intervenant vraisemblablement fortement. Enfin, l'apparition de produits d'oxydation des lipides reste modeste avec les deux types de cuisson appliqués à l'entrecôte. Par contre, la cuisson en rôti du rumsteck et surtout celle en braisé du paleron génèrent des quantités très importantes de MDA (près de 4 µg/g de tissu), pouvant ainsi atteindre les valeurs limites d'acceptabilité déterminées par tests organoleptiques rapportées par Campo et al. (2006). Dans cette dernière situation, comme dans les autres modes de cuisson testés, les effets délétères sont essentiellement observés après une maturation longue des viandes. Il est probable qu'une augmentation de la lipolyse au cours des maturations longues peut prédisposer ces acides gras ainsi libérés à une plus grande sensibilité à la peroxydation comme déjà suggéré par Gandemer (1999).

	Mode de cuisson		SEM*$_{intra}$	effets des traitements		
Entrecôte	Grillé	Poêlé		cuisson	maturation	interaction
Vit E, µg/g de sec						
3 jours de maturation	- 1.48	- 0.98	1.06	0.532	0.272	0.734
14 jours de maturation	- 5.01	- 3.87				
SAO, µmole/g de sec						
3 jours de maturation	- 2.89**	- 2.35**	0.163	**0.003**	0.609	0.698
14 jours de maturation	- 3.06**	- 2.37**				
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation	- 179	+ 795	196	0.106	0.450	0.09
14 jours de maturation	- 203	+ 34				
Rumsteck	Frit	Rôti				
Vit E, µg/g de sec						
3 jours de maturation	+ 0.85	- 2.54	0.87	**0.018**	0.328	0.752
14 jours de maturation	-1.03	- 3.93**				
SAO, µmole/g de sec						
3 jours de maturation	- 2.06**	- 2.37**	0.08	**0.039**	0.859	0.475
14 jours de maturation	- 2.09**	- 2.30**				
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation	- 1371	+ 558	407	**0.001**	0.090	0.098
14 jours de maturation	+ 20	+ 2549**				
Paleron	Braisé					
Vit E, µg/g de sec					maturation	
3 jours de maturation	- 9.21**		1.78		0.326	
14 jours de maturation	- 11.48**					
SAO, µmole/g de sec						
3 jours de maturation	- 2.49**		0.24		0.99	
14 jours de maturation	- 2.48**					
MDA, µg/kg de sec						
3 jours de maturation	+ 960		319		**0.0001**	
14 jours de maturation	+ 3624**					

Tableau 1 : Influence du type de cuisson (mesurée par la différence "cuit" - "cru") et de la durée de maturation sous vide sur les paramètres de la lipoperoxydation mesurés avant et après cuisson. * P<0.05 ; ** P<0.01.

Conclusions

Il apparaît donc que les maturations sous vide de 14 jours prédisposent plus les viandes aux processus de peroxydations survenant lors de la cuisson. Il apparaît également que l'intensité des processus de peroxydation au cours de la cuisson soit principalement déterminée par la durée de la cuisson et non par sa température.

Références bibliographiques

Badiani A., Stipa S., Bitossi F., Gatta PP., Vignola G., Chizzolini R., Meat Science, 60 : 169-186
Bramley P.M., Elmadfa I., Kafatos A., Kelly F.J., Manios Y., Roxborough H.E., Schuch W., Sheehy P.J.A, Wagner K.H. 2000. J Sci. Food Agric.,80 : 913-938.
Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I. 2006. Meat Science ,72 : 303-311.
Gandemer G. 1999. Science des Aliments , 19 : 439-458
Kojima M.1998. Jap. J. Nutr. Fd. Sci., 51: 94-100.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de INTERBEV/OFIVAL (Contrat "Cuisson" - 2004).
Les auteurs remercient le personnel technique de NEM/URH et de l'ADIV pour la préparation des échantillons, la réalisation des cuissons et des dosages.

EFFETS DES MODES DE CONSERVATION DE LA VIANDE BOVINE SUR LES LIPIDES ET LEUR CONTENU EN ACIDES GRAS POLYINSATURES

BAUCHART D.[1], THOMAS E.[2], SCISLOWSKI V.[2], PEYRON A.[2], DURAND D.[1]

[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Centre de Recherche de Clermont-Ferrand/Theix, F- 63122 Saint-Genès-Champanelle ; [2]ADIV Association, F- 63039, Clermont-Ferrand.

Introduction

Les relations existantes entre graisses alimentaires et incidence de pathologies chez l'homme, notamment les maladies cardiovasculaires (MCV), sont bien établies et ceci explique que les pouvoirs publics émettent des messages précis en terme de recommandations alimentaires (incluant les graisses animales) en relation avec la santé .

La viande de ruminant est critiquée pour ses faibles teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPI) de type n-6 et surtout n-3 et par sa trop forte richesse en acides gras saturés, ce qui constituent des éléments négatifs en terme de protection vis-à-vis des MCV. Des travaux récents (Scollan et al, 2005; Bauchart et al, 2005) ont montré qu'il est possible d'améliorer le profil en acides gras par l'emploi de rations à base d'herbe ou supplémentés en lipides riches en AGPI n-3. Cependant, il a été montré également que ces AGPI sont très sensibles aux réactions de peroxydation aussi bien dans le sang chez l'animal ingérant ces acides gras que dans ses propres tissus et notamment dans la viande après traitements technologiques (Durand et al, 2005).

Par ailleurs la lipolyse peut être une autre cause majeure de la dégradation des lipides dans la viande notamment comme facteur favorisant la peroxydation. L'évolution post-mortem de l'activité lipolytique dans la viande est peu connue, hormis chez le Porc (revue de Gandemer, 1999). Elle survient au cours de la maturation ou au cours des processus de transformation notamment sous l'action de lipases particulièrement spécifiques des triglycérides (TG) riches en AGPI, mais aussi sous l'action de phospholipases (Gandemer, 1999).

Le but de l'étude est de déterminer les effets de différentes conditions de maturation, de conditionnement et de conservation à -20°C de la viande bovine sur les caractéristiques de ses lipides (teneur et distribution en classes; composition en AGPI) et leur sensibilité à la lipolyse (taux d'acides gras libres, AGL).

Matériel et méthodes

Cette étude a été réalisée sur une viande grasse (entrecôte) issue de 12 vaches charolaises réparties en 3 séries d'abattage. A 24 h post mortem, l'entrecôte de 4 vaches est mise à maturer sous vide pendant 2 ou 10 jours (j) et celle de 4 autres vaches est maturée en carcasse pendant 2j ou 5j. A la suite de ces maturations, les entrecôtes sont conditionnées et conservées 5j sous film étirable ou 11j sous atmosphère modifiée (70% O_2 et 30% CO_2). Enfin, les carcasses d'une dernière série de 4 vaches sont maturées 10j sous vide après découpe, et les entrecôtes sont ensuite immédiatement conditionnées puis conservés congelées à -20°C pendant 30, 135 ou 270j.

Après application des différents traitements, 120-150g d'entrecôte sont réduits en poudre homogène par broyage dans N_2 liquide et conservés à – 20°C jusqu'aux analyses. La teneur en matière sèche est déterminée par gravimétrie après séchage à l'étuve de la poudre de viande à 80°C pendant 48 h. La teneur en lipides totaux est déterminée par gravimétrie après leur extraction spécifique par la méthode Folch et al (1957). Les teneurs en TG, phosphatidyl choline (PC) et éthanolamine (PE) et AGL sont déterminées, après séparation par HPLC, par détection par diffusion de lumière. Les teneurs en AGPI n-3 et n-6 sont mesurées par CPG-FID sur colonne capillaire haute définition (CP Sil 88, 100 m long). L'analyse statistique des données a été conduite selon la procédure de Mesures Répétées des modèles linéaires de SAS (SAS Institute Inc., 1990), les effets étant déclarés significatifs au seuil de 5%.

Résultats -Discussion

L'entrecôte de vaches charolaises est particulièrement riche en lipides (14,1% de tissu frais) dominés par les TG (92,8%), les fractions PL (PC+PE) et AGL étant très minoritaires (5,3 et 0,3% respectivement) (Tableau 1).

La **maturation sous vide** de l'entrecôte pendant 10j par rapport à 2j entraîne une perte d'eau de 10% ($P< 0,001$) ce qui explique principalement l'augmentation parallèle observée de la teneur en lipides totaux (+25,6%, $P< 0,06$). Qualitativement, les teneurs déjà modestes en AGPI n-6 (2,8% des AG totaux) et n-3 (1,10 %) baissent de -8,2% (NS) et -12,7% ($P< 0,05$) respectivement. Ceci ne peut pas s'expliquer seulement par une peroxydation accrue des AGPI qui apparaît limitée d'après des indicateurs directs de la peroxydation (cf. Durand et al, 2006). Néanmoins, le risque potentiel de conserver la viande à + 4°C même sous vide existe. Ceci pourrait être particulièrement le cas de viandes maigres riche en PL (lipides de constitution des membranes) qui incorporent préférentiellement les AGPI comme cela a été montré avec des viandes de bovin, agneau et porc (Enser et al, 1996). **La maturation en carcasse** conduit également à une perte d'eau (-7,3%, $P< 0,07$) et entraîne donc un enrichissement apparent en lipides (+14,7%, $P<0,06$) mais n'induit aucune perte d'AGPI n-3 ou n-6. Par ailleurs, on n'observe pas d'effet sur la lipolyse, la teneur en AGL étant très faible à 2j (0,1% lipides totaux) et nulle à 10j.

Le type de conditionnement de l'entrecôte qu'il soit Sous Film 5j ou Sous Atmosphère Modifiée 11j n'exerce aucun effet sur les teneurs en eau, en lipides totaux et en leurs fractions TG, PC, PE, et AGL. De même, ces traitements ne modifient pas le profil en acides gras, notamment des AGPI n-6 et n-3. L'absence d'effets sur les AGPI s'oppose à priori aux données de production de produits oxydés (MDA) mesurés dans cette même expérience sur le même tissu

(Durand et al, 2006). Cela pourrait s'expliquer par la richesse en graisses de l'entrecôte relativement à sa masse maigre permettant au tissu d'être proportionnellement moins sensible aux traitements de conditionnement tant sous film que sous atmosphère modifiée.

Durée de conservation à -20°C (j)	**0**	**30**	**135**	**270**	**SEM**	**Effet congélation**
Matière sèche (% tissu frais)	33,5	34,3	36,8	37,7	*0,9*	**0,03**
Lipides totaux (% tissu frais)	14,1	12,5	17,4	19,5	*1,4*	**0,03**
Triglycérides (% lipides totaux)	92,8	92,2	95,0	95,6	*0,6*	**0,05**
Phosphatidyl choline (% lipides totaux)	3,4	3,1	2,6	0,9	*0,3*	**0,01**
Phosphatidyl éthanolamine (% lipides totaux)	1,9	1,8	1,6	1,2	*0,2*	**0,11**
Acides gras libres (% lipides totaux)	0,26	0,19	0,17	0,47	*0,04*	**0,03**
Σ AGPI n-3 (% AG totaux)	1,10	1,03	1,00	0,96	*0,04*	**0,05**
Σ AGPI n-6 (% AG totaux)	2,79	2,69	2,62	2,51	*0,06*	**0,02**

Tableau 1: Effets de la durée (en j) de conservation à -20°C de l'entrecôte de bovin sur la teneur de la viande (% en poids de tissu frais) en matière sèche, en lipides totaux et ses fractions majeures (triglycérides, phosphatidyl choline et éthanolamine) et mineures (acides gras libres) ainsi que sur la teneur en AGPI n-3 et n-6 totaux (% des AG totaux).

La conservation à -20°C de l'entrecôte entraîne avec le temps une perte progressive d'eau qui atteint 12,5% après 270j (P< 0,03), ce qui élève de + 38,3% le taux de lipides (P< 0,03) (Tableau 1). Ceci s'accompagne d'une perte relative en phospholipides (surtout en PC) et non en triglycérides. Ces résultats sont en accord avec les observations de Gandemer (1999) et expliquerait en partie la forte augmentation de la teneur en AGL enregistrée à 270j (+80,8%, P<0,03).
A l'état congelé, la réaction de lipolyse dans les viandes est lente mais persiste pendant plusieurs mois. Avec la chair de poisson, il a été observé que le taux d'AGL augmente d'un facteur 5 pour une durée de conservation de 24 à 43 semaines entre -10°C et -20°C (Srikar et al., 1989). Dans notre essai sur l'entrecôte bovine, les niveaux atteints après 270j de congélation sont largement supérieurs à ceux mesurés dans toutes les autres conditions de conservation même après maturation pendant 5j sous film, condition la plus favorable pour le développement de la lipolyse. Ce phénomène s'accompagne d'une baisse (entre 0 et 270j) régulière des teneurs en AGPI n-3 (-12,7%, P< 0,05) et en AGPI n-6 (-10,0%, P< 0,02) (Tableau 1).

Conclusion

L'altération des lipides de l'entrecôte n'est significative que dans le cas de la **maturation sous vide pendant 10j** avec une **perte spécifique d'AGPI n-3** laissant envisager un phénomène de peroxydation malgré l'élimination de l'O_2 ambiant. Cependant, les effets les plus marqués sont enregistrés dans le cas de **la conservation de longue durée (270j) à -20°C** de la viande entraînant une **forte phospholipolyse** accompagnée d'une **perte d'AGPI n-3 et n-6 supérieure à 10%.** Des essais supplémentaires devront être entrepris, notamment au cours de la période 135-270j, pour mieux définir la durée de conservation optimale des viandes, notamment dans le cas des viandes fortement enrichies en AGPI n-3.

Références bibliographiques

Bauchart D., Gladine C., Gruffat D., Leloutre L., Durand D. 2005. In "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Acad. Publishers, pp 431-436.
Durand D., Scislowski V., Chilliard Y., Gruffat D. Bauchart D. 2005. In "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Acad. Publishers, pp. 137-150.
Durand D., Savary-Auzeloux I., Ortigues-Marty I., Thomas E., Peyron A., Bauchart D. 2006. 11èmes JSMTV (à paraître)
Enser M., Hallet K.G, Hewett B., Fursey G.A.J., Wood J.D. 1996. Meat Science, 44, 329-341.
Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H.S., (1957). J. Biol. Chem. 226, 497-509.
Gandemer G. 1999. Science des Aliments, 19, 439-458
Scollan N., Richardson I, De Smet S., Moloney A. P., Doreau M., Bauchart D., Nuernberg K. 2005. In "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Acad. Publ., pp 151-162.
Srikar L., Sehadari H.S., Fazal A.A. 1989. Int. J Food Sci. Technol., 24, 653-658.

Remerciements
Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de INTERBEV/OFIVAL (Contrat MCQN - 2005).
Les auteurs remercient le personnel technique de NEM/URH, de l'ADIV et de l'Atelier d'Analyse Nutritionnelle des Viandes pour leur participation à la préparation et à l'analyse des échantillons.

LES TISSUS ADIPEUX, NOTAMMENT INTERMUSCULAIRES, SONT LE SIEGE DE LA SYNTHESE ET DE LA BIOCONVERSION DU 9*CIS*,11*TRANS* CLA CHEZ LE BOUVILLON

GRUFFAT D.[1], REMOND C.[1], DURAND D.[1], LOREAU O.[2], BAUCHART D.[1]

[1]INRA, C.R. Clermont-Fd/Theix, Unité de Recherche sur les Herbivores, F- 63122 Saint-Genès-Champanelle; [2]Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), Saclay, F- 91191 Gif/Yvette Cedex.

Introduction

Depuis près de 20 ans, la consommation de viande bovine décroît régulièrement, principalement à cause de son coût jugé trop élevé, d'une grande hétérogénéité de ses qualités organoleptiques et d'une image nutritionnelle de ses lipides et acides gras, relativement négative auprès du consommateur. Toutefois, la viande bovine est une source importante d'acides aminés, de fer héminique, de vitamine B12 et d'acide linoléique conjugué (CLA), ce dernier étant connu pour ses propriétés protectrices potentielles vis-à-vis de pathologies majeures chez l'homme [Whale et al, 2004]. Les produits de ruminants (lait/viande) sont les principales sources alimentaires de CLA pour l'homme puisque celui-ci est synthétisé, d'une part, par hydrogénation et trans-isomérisation ruminales des acides gras (AG) polyinsaturés alimentaires et, d'autre part, par Δ9 désaturation tissulaire de l'acide trans vaccénique (11*trans* C18:1, ATV) produit dans le rumen [Griinari et Bauman, 1999]. Si le rôle de la mamelle dans cette synthèse tissulaire de CLA est clairement établi chez la vache laitière [Griinari et al, 2000], très peu de données sont actuellement disponibles concernant la synthèse tissulaire de CLA chez le bovin producteur de viande qui pourrait réguler son dépôt dans le muscle. Son accumulation préférentielle dans les triglycérides musculaires associés aux tissus adipeux intra et intermusculaires chez le bovin [Bauchart et al, 2002, 2005] suggérait un rôle spécifique de ces tissus dans la biosynthèse du CLA. Ainsi, l'objectif de ce travail était d'étudier le rôle potentiel de ce tissu dans la synthèse de CLA (à partir de l'ATV) et sa bioconversion par désaturations (Figure 1) selon une approche expérimentale menée *ex vivo* sur explants de tissus adipeux maintenus en survie.

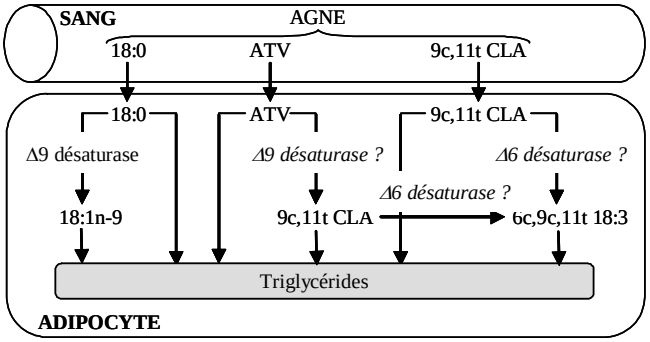


Figure 1 : Représentation simplifiée du métabolisme supposé du 18:0, de l'ATV et du 9c,11t CLA dans le tissu adipeux de ruminant.

Matériel et Méthodes

Cette étude a été réalisée sur un lot (n = 6) de bouvillons Charolais (âge : 2,2 ± 0,1 ans, PVV : 650 ± 13 kg, % masse grasse : 16,9 ± 0,5) ayant reçu un régime composé d'aliment concentré (68,2%), d'ensilage d'herbe (28%), de tourteau de soja (3,4%) et d'un mélange minéraux/vitamines (0,4%). Les prélèvements des tissus adipeux sous-cutané (SC) et intermusculaire (IM) (≈ 200 g) ont été effectués au niveau de la 6ème côte immédiatement après abattage des animaux. Les échantillons ont été découpés en tranches fines (≈ 0,5 mm) et incubés pendant 16 h à 37°C sous atmosphère contrôlée (95% O_2-5% CO_2) en présence d'un mélange d'AG représentatifs des AG non estérifiés sanguins disponibles pour le tissu et de [1-^{14}C]-18:0 ou [1-^{14}C]-ATV ou [1-^{14}C]-9*cis*,11*trans* CLA. La viabilité fonctionnelle des explants pendant 48 h a été vérifiée par le dosage de l'activité glucose-6-phosphate déshydrogénase, du taux de captage du glucose et des AG par les adipocytes et du taux d'estérification de ces AG (résultats non présentés). Le taux de bioconversion des AG par désaturation a été déterminé par chromatographie phase gazeuse couplée à un détecteur de radioactivité (CPG-RAM), l'identification des produits de conversion étant réalisée par comparaison du temps de rétention des AG tissulaires avec ceux d'AG standards de référence.

Résultats - Discussion

La désaturation des trois AG étudiés par les tissus adipeux SC et IM est largement influencée par le type d'AG et le site anatomique des tissus adipeux (Figure 2). Dans le tissus adipeux SC, l'acide stéarique (18:0) subit la Δ9 désaturation la plus importante (27% du 18:0 présent dans les adipocytes est désaturé en 18:1 n-9) alors que l'ATV est désaturé en 9*cis*,11*trans* CLA à raison de 4,4% et que le 9*cis*,11*trans* CLA est désaturé en 6*cis*,9*cis*,11*trans* 18:3 à raison de 14,5%. A l'opposé, dans le tissu adipeux IM, l'acide stéarique est beaucoup moins converti (6,8%) en acide oléique

(P < 0,0001), son taux de désaturation étant ainsi du même ordre de grandeur que celui du 9*cis*,11*trans* CLA (10,8%) et de l'ATV (2,5%).

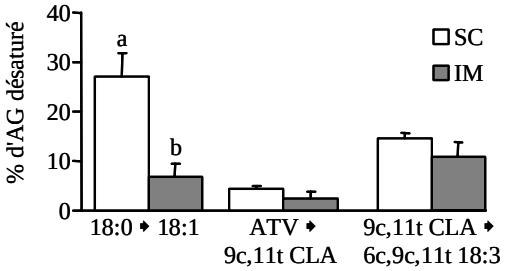


Figure 2 : Intensité de désaturation du 18:0 en 18:1n-9, de l'ATV en 9*cis*,11*trans* CLA et du 9*cis*,11*trans* CLA en 6*cis*,9*cis*,11*trans* 18:3 par les explants de tissus adipeux SC et IM de bouvillons Charolais après 16 h de mise en survie. [a,b] : P < 0,0001.

Il apparaît donc de façon surprenante que le 18:0, connu pour être le substrat préférentiel de la Δ9 désaturase [Jeffcoat et al, 1977] comme observé dans le tissu adipeux SC, ne joue pas ce rôle dans le tissu adipeux IM. Cette différence n'est pas la conséquence d'une activité moindre de la Δ9 désaturase dans le tissu adipeux IM puisque les autres AG sont désaturés de façon similaire dans les 2 tissu adipeux mais pourrait s'expliquer par un besoin différent de ces tissus en qualité d'AG puisque que le SC aurait plutôt un rôle de stockage des AG pour l'ensemble de l'organisme alors que l'IM stockerait de préférence les AG essentiels au bon fonctionnement du métabolisme musculaire.
La désaturation de l'ATV en 9*cis*,11*trans* CLA dans les deux tissus adipeux étudiés montre pour la première fois de façon directe le rôle de ces tissus dans la synthèse endogène de CLA chez le Bouvillon. Ce résultat confirme les hypothèses émises par Bauchart et al [2002, 2005] et Raes et al [2003] chez le ruminant montrant que les CLA étaient principalement associés aux triglycérides du TA et par Santora et al [2000] chez la souris montrant que lorsque les animaux reçoivent 1% d'ATV dans la ration, le CLA n'était détecté que dans les lipides neutres.
Un autre résultat notable est l'existence d'une réaction de désaturation du CLA en 6*cis*,9*cis*,11*trans* 18:3 dans les tissus adipeux de bouvillons Charolais à une intensité non négligeable puisqu'elle correspond à plus de 10% du 9*cis*,11*trans* CLA présent dans les adipocytes. Cette conversion a déjà été décrite dans le foie de bovin [De La Torre et al, 2005a] et de rongeur [Gruffat et al, 2003] catalysée probablement par la Δ6 désaturase [Sébédio et al, 2001]. Belury et Kempa-Stecko [1997] ont proposé que, lors de la synthèse de ces dérivés conjugués, le CLA entrait en compétition avec l'acide linoléique pour l'activité Δ6 désaturase conduisant à une diminution de la production des eicosanoïdes. Ces derniers étant impliqués dans la stimulation de cancers et de l'athérosclérose, une telle réduction de la synthèse d'acide arachidonique pourrait expliquer, du moins en partie, les effets anticancéreux et anti-athérogéniques des CLA. Toutefois, les propriétés biologiques de ces dérivés conjugués sont encore méconnues à l'exception d'une étude sur lignées tumorales humaines montrant que le 6*cis*,9*cis*,11*trans* 18:3 possédait des propriétés anticancéreuses proches de celles des CLA [De La Torre et al, 2005b].

Conclusions

Ce travail a permis de mettre en évidence, pour la première fois, dans des conditions expérimentales proches des conditions *in vivo*, que les tissus adipeux de bouvillon sont fortement impliqués dans la synthèse endogène de CLA à partir de l'ATV et dans sa bioconversion en dérivé conjugué supérieur dont les propriétés biologiques potentiellement positives restent à préciser.

Références bibliographiques

Bauchart D., De La Torre A., Durand D., Gruffat D., Peyron A. 2002. Proceedings 9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande. 15-16 Oct. 2002 Clermont-Fd (FRA), pages 73-74.
Bauchart D., Gladine C., Gruffat D., Leloutre L., Durand D., 2005. Indicators of milk and beef quality, EAAP Publ., 112, 431-436.
Belury MA., Kempa-Stecczko A., 1997. Lipids, 32, 199-204.
De La Torre A., Gruffat D., Chardigny JM., Sébédio JL., Durand D., Loreau O., Bauchart D., 2005a. Reprod. Nutr. Dev., 45, 441-451.
De La Torre A., Debiton E., Durand D., Chardigny JM., Berdeaux O., Loreau O., Barthomeuf C., Bauchart D., Gruffat D., 2005b. Anticancer Research, 25: 3943-3950.
Griinari JM., Bauman DE., 1999. Advances in Conjugated Linoleic Acid Research, Vol 1. AOCS Press, Champaign, USA: 180-200.
Griinari JM., Corl BA., Lacy SH., Chouinard PY., Nurmela KVV., Bauman DE., 2000. J. Nutr., 130, 2285-2291.
Gruffat D., De La Torre A., Chardigny JM., Durand D., Loreau O., Sébédio JL., Bauchart D., 2003. Lipids, 38, 157-163
Jeffcoat R., Brawn PR., Safford R., James AT., 1977. Biochem. J., 161, 431-437
Raes K., De Smet S., Balcaen A., Clayes E., Demeyer D., 2003. Reprod. Nutr. Dev., 43, 331-345.
Santora JE., Palmquist DL., Roehrig KL., 2000. J. Nutr., 130, 208-215.
Sébédio JL., Angioni E., Chardigny JM., Grégoire S., Juanéda P., Berdeaux O., 2001. Lipids, 36, 575-582.
Whale K., 2004. Prog. Lipid Res., 43, 553-587.

SESSION 3

Génomique et qualités des viandes

Animateurs : Michel Duclos (Inra-Tours)
et Gilles Renand (Inra-Jouy en Josas)

Conférences

LA GENOMIQUE APPLIQUEE A L'AMELIORATION DES ANIMAUX D'ELEVAGE. PRESENTATION DES PROJETS FINANCES DANS LE CADRE DU PROGRAMME « AGENAE ».

SELLIER P.

Station de Génétique Quantitative et Appliquée, INRA, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

Introduction

Les objectifs scientifiques et les principes d'organisation et de fonctionnement du programme AGENAE (**A**nalyse du **GEN**ome des **A**nimaux d'**E**levage) ont été présentés lors d'une précédente édition des Journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes » (Sellier et al. 2002).
Nous disposons maintenant de plusieurs années de recul sur l'état d'avancement et les réalisations du programme AGENAE. Notre objectif ici est de faire un point sur le sujet, en mettant l'accent sur les actions de recherche touchant au thème « muscle et viande ».

Les structures d'appui et les modes de financement du programme AGENAE

Rappelons brièvement que la conduite du programme AGENAE s'appuie principalement sur un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) constitué en mai 2002 pour une durée de cinq ans. Les membres du GIS AGENAE, dans sa configuration définitive, sont d'une part deux organismes de recherche publique (l'INRA et le CIRAD) et d'autre part des associations professionnelles représentant les principales filières animales (APIS GENE pour la filière des bovins et petits ruminants, CIPA pour la filière aquacole, BIOPORC pour la filière porcine, AGENAVI pour la filière avicole). Le programme AGENAE s'est aussi appuyé, notamment sur le plan du soutien financier des projets retenus à la suite d'appels d'offres annuels, sur un Réseau de Recherche et d'Innovation Technologique (RRIT) appelé GENANIMAL, mis en place en 2003 sous l'égide du Ministère de la Recherche. Les crédits publics accordés aux projets provenaient pendant les deux premières années du Fonds National de la Science (FNS) pour les projets de caractère générique et du Fonds de la Recherche Technologique (FRT) pour les projets à vocation finalisée, lesquels ont également bénéficié d'un cofinancement apporté par le partenaire professionnel concerné. Le début de l'année 2005 a vu la création d'une nouvelle entité – l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) – qui s'est substitué à l'ensemble FNS/FRT, et cette situation de transition a malheureusement entraîné des retards dans la mise en place effective de certains des financements précédemment arbitrés. Depuis l'an dernier, le pilotage des appels d'offres GENANIMAL relève donc de l'ANR, qui a délégué à l'INRA la gestion du programme sur le plan organisationnel et financier.

Il convient également de rappeler que, lors de la phase de démarrage du programme AGENAE (années 2002 et 2003), un certain nombre d'infrastructures d'accompagnement ont été confortées ou constituées *de novo* pour apporter un appui technologique aux équipes de recherche impliquées dans les projets de génomique animale soutenus dans le cadre du programme. Deux de ces infrastructures ont une vocation nationale : il s'agit, d'une part, du CRB GADIE (Centre de Ressources Biologiques pour la Génomique des Animaux d'Intérêt Economique) localisé à Jouy-en-Josas (pour plus de détails sur les missions et les activités du CRB GADIE, voir le site web : http://www-crb.jouy.inra.fr) et, d'autre part, de la plate-forme bioinformatique SIGENAE dont le siège est à Toulouse (http://www.inra.fr/agenae/SIGENAE.html)). D'autres infrastructures, situées à proximité immédiate des équipes de recherche, ont une vocation plus locale : il s'agit en particulier de plates-formes ou de plateaux techniques dédiés aux analyses du transcriptome (stations d'hybridation des puces à ADN) ou du protéome (installations de spectrométrie de masse). Les équipes de recherche peuvent également bénéficier des infrastructures et/ou des ressources du réseau national des génopoles.

Un premier bilan sur les « cibles » des actions AGENAE (2002-2006)

La répartition des projets retenus au cours des cinq premières années de fonctionnement du programme AGENAE / GENANIMAL est résumée ci-dessous sous forme d'un tableau à double entrée : le thème d'étude d'une part, l'espèce (ou le groupe d'espèces) d'autre part..

Il est utile de préciser que pour les quelques programmes de recherche ayant bénéficié au cours des appels d'offres successifs de deux, voire trois, tranches de financement, ces différentes tranches ont été comptabilisées pour les besoins de ce bilan comme autant de « projets » différents. On arrive ainsi à un total général de 58 projets de recherche – à visée générique pour environ un tiers d'entre eux ou à vocation plus finalisée – qui ont été soutenus depuis 2002 dans le cadre de la démarche AGENAE / GENANIMAL. A titre indicatif, le montant total des financements publics et professionnels arbitrés en faveur de ces 58 projets, dont la durée prévue est de deux à quatre ans, est de l'ordre de 15 millions d'euros.

Tableau 1. Répartition des projets AGENAE 2002-2006 par domaine thématique et par filière animale.

espèce ou groupe d'espèces	bovins et petits ruminants	porc	poule et autres espèces avicoles	truite et autres espèces aquacoles	« multi-espèces »
reproduction : fertilité des gamètes (femelle et mâle), déterminisme du sexe, développement de l'embryon	8	-	-	5	2 (bovin/porc)
production de viande : croissance, composition corporelle, qualités du produit	6	1	2	3	-
immunité, santé animale, sécurité alimentaire	3	3	1	3	-
lactation, composition du lait	1	-			-
nutrition	-	-	-	1	-
stress, adaptation	-	-	-	1	-
« multi-fonctions »	2	-	1	-	-
anomalies génétiques	1	-	-	-	-
travaux « d'amont » (ressources génomiques, méthodologies et outils, cellules souches aviaires, récepteurs d'hormones, …)	2	-	4	3	5

En matière de répartition des projets par groupe d'espèces, il apparaît que les espèces de ruminants (23 projets, portant sur les bovins à quelques exceptions près) et les espèces aquacoles (16 projets, portant essentiellement sur la truite arc-en-ciel) sont de loin les plus représentées. Il faut toutefois indiquer à ce propos que ces deux groupes d'espèces ont bénéficié d'une certaine antériorité dans l'obtention de financements. Un certain nombre de projets AGENAE concernant les poissons ont été financés – notamment grâce à des fonds européens provenant de l'IFOP (institution finançant la politique commune de la pêche) – dès 2002, c'est-à-dire avant même que le réseau GENANIMAL soit mis en place par le Ministère de la Recherche. Quant aux ruminants, plusieurs projets finalisés les concernant ont reçu des co-financements FRT – APIS GENE dès 2003, année du premier appel d'offres lancé par le réseau GENANIMAL. Du fait de leur entrée plus tardive dans le GIS AGENAE, les associations professionnelles BIOPORC et AGENAVI n'ont apporté leurs premières contributions au financement de projets finalisés qu'en 2004 et 2005, respectivement.

Pour ce qui est de la répartition des projets par thème d'étude, on peut constater que trois grandes fonctions physiologiques ont été en quelque sorte privilégiées, à savoir la reproduction, la croissance (au sens large du terme) et l'immunité. L'accent mis sur ces trois thèmes d'étude varie toutefois, dans une certaine mesure, selon le groupe d'espèces concerné. Les 15 projets s'intéressant à la fonction de reproduction concernent quasi exclusivement les ruminants (8 projets, dont la plupart tourne autour de la baisse de fertilité observée chez les vaches laitières à haut niveau de production) et les poissons (5 projets). Le thème « immunité et santé » est abordé sous différents aspects dans toutes les espèces (10 projets au total, concernant en particulier la génomique de la réponse immunitaire de l'animal et des interactions entre l'hôte et l'agent pathogène), mais il est à noter qu'il occupe une place prépondérante parmi les projets concernant l'espèce porcine. Quant au thème « croissance et production de viande » – au total, 12 projets AGENAE, sur lesquels nous reviendrons ci-après, lui sont spécifiquement consacrés –, il est lui aussi couvert par au moins un projet dans tous les groupes d'espèces, mais c'est chez les ruminants et, dans une moindre mesure, les espèces aquacoles et avicoles qu'il est le plus largement représenté.

La quinzaine de projets relevant de la catégorie des travaux qualifiés « d'amont » dans le tableau 1 sont de nature très diverse. Il s'agit pour une bonne part de projets relatifs au travail de fond qui est le préalable indispensable au développement ultérieur des recherches en génomique : séquençage d'étiquettes (EST) de bovin, de porc, de poule et de truite à partir de banques multi-tissus d'ADN complémentaire (ADNc), cartographie physique (reposant notamment sur le panel d'hybrides irradiés ChickRH6 chez la poule : Morisson et al. 2005), recherche de polymorphismes mononucléotidiques (SNP), développement d'outils bioinformatiques, … Mais il s'agit aussi de projets de caractère fondamental consacrés à la génomique fonctionnelle des cellules souches embryonnaires aviaires, à la génomique comparative des récepteurs nucléaires d'hormones ou à la mise au point de vecteurs permettant l'expression de gènes codant pour des ARN interférents et des microARN, ou encore de projets ayant pour objectif le développement d'outils innovants susceptibles de venir en aide à la sélection (technologie du génotypage de l'embryon bovin par exemple).

Projets AGENAE ayant trait au muscle et à la production de viande

L'apport des approches de génomique pour une meilleure compréhension des variations des caractéristiques musculaires et de la qualité de la viande a été analysé par Renand et al. (2003) et par Eggen et Hocquette (2004). Parmi les projets retenus entre 2002 et 2006 dans le cadre d'AGENAE, on compte une douzaine de projets de recherche –

génériques ou finalisés – relevant de cette thématique « muscle et viande ». Ce qui suit est une brève description de leurs objectifs et des approches utilisées, en regroupant les projets par filière.

Filière bovine

Le projet finalisé ***« QUALVIGENE »***, retenu lors du premier appel d'offres GENANIMAL en 2003, a reçu deux autres tranches de financement en 2005 et en 2006, sous les noms respectifs de ***« QualvigenA »*** et ***« QualvigenB ».*** Ce projet de grande envergure a pour objectif général la détection et la validation de gènes impliqués dans les variations des qualités de la viande bovine dans les trois principales races à viande françaises (Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine). L'un des produits attendus de ce projet est la constitution d'une base de données phénotypiques portant non seulement sur les performances bouchères classiquement mesurées (croissance, composition de la carcasse) mais aussi – ce qui est beaucoup plus rare et fait l'originalité du dispositif – sur un large panel de mesures de caractéristiques musculaires et de qualité de la viande (mesures biochimiques, mesures physiques, tests d'évaluation sensorielle). Parallèlement est constituée, pour les besoins des typages génétiques prévus, une banque d'ADN génomique de tous les animaux mesurés et de leurs deux parents. La structure familiale de l'échantillon d'animaux repose sur les programmes de contrôle sur descendance des taureaux d'insémination artificielle dans les trois races concernées. Au total, quelque 3400 taurillons issus d'environ 115 pères différents et abattus à l'âge moyen de 17 mois sont concernés par ce protocole. Ce corps de données permettra de réaliser diverses analyses génétiques, y compris sous l'angle de la validation pour les races à viande françaises des polymorphismes génétiques mis en évidence dans d'autres populations pour les caractères intéressant la production de viande bovine. Un volet de ce projet sera consacré à la recherche de marqueurs protéiques de la tendreté de la viande en comparant les profils du protéome d'animaux présentant des valeurs extrêmes pour ce caractère.

Le projet ***« MUGENE »***, qui fait partie des projets finalisés retenus lors de l'appel d'offres GENANIMAL 2004, a pour intitulé : « Approche intégrée combinant la génétique, la génomique et la biologie musculaire pour gérer la qualité de la viande bovine selon le potentiel de croissance des animaux et les facteurs d'élevage ». Le projet s'appuie sur deux lignées de race Charolaise sélectionnées de façon divergente sur leur potentiel de croissance musculaire (expérience de sélection conduite au « Vachotron » du Domaine de Bourges). Les animaux de ces deux lignées sont élevés selon deux modes de production de viande différents : taurillons de 15-19 mois conduits en système intensif à l'auge ou bœufs de 30 mois conduits au pâturage. Ce dispositif permet de tester conjointement l'influence du potentiel génétique de croissance musculaire et du système de production sur la maturation *post mortem* et la qualité finale de la viande, notamment sa qualité sensorielle, ainsi que sur la composition corporelle des animaux et les caractéristiques des tissus adipeux de la carcasse. Pour les études différentielles du transcriptome et du protéome du muscle dans les quatre conditions expérimentales, des outils préalablement mis au point – banque d'ADNc (Sudre et al. 2004) et carte protéique du muscle (Bouley et al. 2004) – sont utilisés.

Le projet générique ***« MUSCLON »***, retenu en 2006, porte sur un sujet complètement différent des précédents puisqu'il s'intéresse au développement musculaire des bovins obtenus par clonage somatique. L'objectif de ce projet, programmé sur trois ans, est triple : (1) caractériser sur le plan biochimique et histologique le développement musculaire d'animaux clonés, pendant la vie fœtale et jusqu'à 18 mois d'âge, par rapport à celui d'animaux issus de reproduction sexuée ; (2) comprendre, grâce à la mise en œuvre des méthodes de la génomique fonctionnelle, les mécanismes à l'origine du retard de différenciation musculaire qui, selon des observations de caractère préliminaire, se manifeste chez les clones ; (3) rechercher si des mécanismes similaires sont également mis en jeu chez les descendants de clones.

Filière ovine

Parmi les projets finalisés retenus lors de l'appel d'offres GENANIMAL 2004, le projet ***« TEXEL BELGE »*** concerne le mouton. Il s'agit d'utiliser le modèle original d'hypertrophie musculaire représenté par la race Texel Belge (Laville et al., 2004) pour étudier l'expression de gènes contrôlant le développement du tissu musculaire chez le mouton et de relier cette expression aux caractéristiques de la carcasse et de la musculature et à la qualité finale de la viande. Un autre volet du projet consiste à conduire en vraie grandeur et à évaluer une opération d'introgression assistée par marqueurs pour le QTL concerné dans un rameau « viande » de la race ovine Lacaune. A noter qu'une publication très récente (Clop et al. 2006) fait état d'un mécanisme tout à fait inédit pour expliquer le déterminisme génétique de l'hypertrophie musculaire du mouton Texel Belge. La mutation responsable de ce phénotype crée l'apparition d'un site « illégitime » de reconnaissance pour un microARN (« miRNA ») dans un gène qui en est dépourvu sous sa forme normale. Le gène en cause est celui de la myostatine, dont la traduction est bloquée par la mutation concernée, et l'absence de la myostatine provoque une hypertrophie musculaire, comme c'est le cas, à travers des polymorphismes plus classiques du même gène (mutation ponctuelle, délétion), pour le phénotype « culard » rencontré dans l'espèce bovine.

Filière porcine

Le projet finalisé ***« BIOMARK »***, retenu lors de l'appel d'offres GENANIMAL 2004, a pour objectif majeur une évaluation approfondie de plusieurs QTL porcins en ségrégation dans les populations commerciales françaises en vue de leur cartographie fine et, à terme, de la mise en place d'une sélection assistée par marqueurs. Les principaux phénotypes étudiés dans ce projet programmé sur trois ans sont la vitesse de croissance, l'épaisseur de gras dorsal, la composition tissulaire de la carcasse et différents caractères de qualité de la viande de porc (couleur, pH, pouvoir de rétention d'eau, taux de lipides intramusculaires). La petite dizaine de régions chromosomiques soumises à ce travail de cartographie fine ont été choisies à partir des données précédemment publiées sur les QTL influençant les caractères de production de viande chez le porc (Milan et al. 2002 ; Bidanel et Rothschild 2002). Sur le plan des ressources animales, le projet repose sur une centaine de familles ayant des origines très diverses et représentatives de la plupart des races et lignées porcines actuellement utilisées en France.

Filière avicole

L'utilisation accrue de la viande de volaille dans l'industrie de découpe et de transformation a conduit depuis quelques années à s'intéresser de plus en plus à la maîtrise génétique de sa qualité technologique et de son aptitude à la fabrication de produits élaborés (Debut et al 2003 ; Le Bihan-Duval 2004). L'un des projets finalisés retenus en 2005 (***« QUALVIVOL »***) est centré sur la variabilité génétique de la qualité technologique des viandes chez le poulet de chair, l'approche utilisée par les porteurs de ce projet alliant génomique positionnelle (recherche de QTL) et génomique fonctionnelle (analyse du transcriptome). Le projet, programmé sur trois ans, vise à identifier des marqueurs moléculaires (microsatellites ou SNP) associés aux variations de qualité de la viande dans une population commerciale, en transposant et en affinant les premiers identifications de QTL obtenues sur des lignées expérimentales et en exploitant les données d'expression de gènes issues de l'étude du transcriptome musculaire. Une attention toute particulière est accordée dans ce projet à la recherche de gènes associés aux variations conjointes du potentiel glycolytique du tissu musculaire et du pH ultime de la viande.

Un projet générique retenu en 2004 (***« eQTL »***) vise à évaluer l'intérêt de l'approche dite eQTL (« *expression quantitative trait locus* ») pour l'identification de gènes responsables de la variabilité de caractères quantitatifs (Jansen et Nap, 2001). Cette démarche originale consiste à réaliser une analyse de liaison génétique de type « recherche de QTL » en se basant non pas sur des données de performance – comme cela se fait classiquement – mais sur des données d'expression de gènes obtenues par une analyse du transcriptome. Ce projet de caractère méthodologique a un lien avec la production de viande de poulet puisque les caractères étudiés pour la mise à l'épreuve de la méthode ont trait à la croissance et à l'adiposité du poulet de chair. Le projet s'appuie sur des modèles issus d'expériences de sélection divergente, à savoir deux lignées d'animaux à croissance lente ou rapide et deux lignées d'animaux maigres ou gras.

On peut également mentionner ici le projet finalisé ***« RESISAL »*** qui a été retenu en 2005 et présente un rapport direct avec les questions de sécurité alimentaire liées à la consommation de viande de poulet. Ce projet porte en effet sur l'identification, par des analyses de génomique expressionnelle, de facteurs de résistance de l'hôte au portage des salmonelles et sur l'étude des mécanismes de la réponse immunitaire impliqués dans cette résistance génétique. Cette action pourrait déboucher sur la mise au point de critères de sélection utilisables dans les programmes d'amélioration génétique de la poule et, à plus long terme, d'autres espèces avicoles.

Indiquons enfin que l'objectif du projet finalisé ***« GENECAN »***, retenu lors de l'appel d'offres 2006 et classé sous la rubrique « multi-fonctions » dans le tableau 1, est la recherche des QTL impliqués dans la variabilité génétique de nombreux caractères chez le canard mulard et que, parmi les caractères étudiés, figurent la résistance au portage des salmonelles et la qualité des produits issus de la filière des palmipèdes à gaver (foie gras et magret).

Filière aquacole

L'étude des déterminismes génétiques du développement hyperplasique du muscle et de la typologie des fibres musculaires chez la truite arc-en-ciel a fait l'objet d'un projet de recherche retenu lors de l'appel d'offres « poissons » de 2002. Un répertoire de transcrits spécifiques du muscle a été défini à partir de la banque de clones d'ADNc de truite développée pour les besoins des équipes engagées dans le programme AGENAE. Ce répertoire a été utilisé par hybridation *in situ* pour suivre l'évolution de l'expression des gènes concernés au cours de la myogenèse et caractériser les étapes de la différenciation et de la diversification des fibres musculaires aux stades embryonnaire et larvaire (Chauvigné et al. 2005, 2006).

Deux autres projets AGENAE – l'un retenu lors de l'appel d'offres « poissons » de 2003, l'autre retenu comme projet générique lors de l'appel d'offres GENANIMAL 2005 – sont centrées sur les variations de l'adiposité chez la truite arc-en-ciel. Le premier projet est intitulé « Bases moléculaires pour la maîtrise par les voies génétique et nutritionnelle de l'adiposité chez la truite ». Concernant la variation d'origine génétique, le projet s'appuie sur deux lignées ayant fait

l'objet d'une sélection divergente sur la teneur en gras intramusculaire. La variation d'origine nutritionnelle porte sur la concentration énergétique du régime avec l'utilisation de deux régimes plus ou moins enrichis en lipides. Les analyses différentielles d'expression des gènes chez les animaux représentant les quatre modalités lignée x régime sont réalisés dans le muscle, le foie et le tissu adipeux abdominal. Cette approche de transcriptomique est complétée par l'analyse du protéome hépatique (Kolditz et al 2006). Le but du second projet (« ***GFAT*** »), intitulé « Génomique fonctionnelle de l'adiposité chez la truie d'élevage », est de comparer les effets de l'état de ploïdie du génome (diploïdes vs. triploïdes) et de la quantité de lipides de l'aliment sur l'expression des gènes du métabolisme lipidique dans le tissu adipeux et dans le foie, au cours des phases de dépôt et de mobilisation des réserves lipidiques corporelles caractérisant le cycle de reproduction de la truite d'élevage.

Conclusion

Ce premier bilan des projets AGENAE / GENANIMAL mis en œuvre depuis 2002 met en évidence la grande diversité thématique des projets génériques ou finalisés soutenus dans le cadre de ce programme de génomique des animaux d'élevage. Il montre aussi que les actions de recherche consacrées à la production de viande et à la qualité des produits carnés occupent une place très significative parmi l'ensemble des projets qui sont déjà en cours ou qui vont être mis en place prochainement.

Références bibliographiques

Bidanel J.P., Rothschild M.F., 2002. Pig News and Information, 23, 39-53.
Bouley J., Chambon C., Picard B., 2004. Proteomics, 4, 1811-1824.
Chauvigné F., Cauty C., Rallière C., Rescan P.Y., 2005. Developmental Dynamics, 233, 659-666.
Chauvigné F., Rallière C., Cauty C., Rescan P.Y., 2006. Journal of Experimental Biology, 209, 372-379.
Clop A., Marcq F., Takeda H., Pirottin D., Tordoir X., Bibé B., Bouix J., Caiment F., Elsen J.M., Eychenne F., Larzul C., Laville E., Meish F., Milenkovic D., Tobin J., Charlier C., Georges M., 2006. Nature Genetics, publication on line (04/06/2006), www.nature.com/ng/index.html.
Debut M., Berri C., Baéza E., Sellier N., Arnould C., Guéméné D., Jehl N., Boutten B., Jego Y., Beaumont C., Le Bihan-Duval E., 2003. Poultry Science, 82, 1829-1838.
Eggen A., Hocquette J.F., 2004. Meat Science, 66, 1-9.
Jansen R.C., Nap J.P., 2001. Trends in Genetics, 17, 388-391.
Kolditz C., Lefèvre F., Borthaire M., Quillet E., Médale F., 2006. XII International Symposium of Fish Nutrition and Feeding, 28 May–1st June, Biarritz, abstract.
Laville E., Bouix J., Sayd T., Bibé B., Elsen J.M., Larzul C., Eychenne F., Marcq F., Georges M., 2004. Journal of Animal Science, 82, 3128-3137.
Le Bihan-Duval E., 2004. World's Poultry Science Journal, 60, 331-340.
Milan D., Bidanel J.P., Iannuccelli N., Riquet J., Amigues Y., Boscher M.Y., Bourgeois F., Caritez J.C., Gruand J., Le Roy P., Lagant H., Quintanilla R., Renard C., Gellin J., Ollivier L., Chevalet C., 2002. Genetics Selection Evolution, 34, 705-728.
Morisson M., Leroux S., Jiguet-Jiglaire C., Assaf S., Pitel F., Lagarrigue S., Bardes S., Fève K., Faraut T., Milan D., Vignal A., 2005. Genetics Selection Evolution, 37, 229-251.
Renand G., Larzul C., Le Bihan-Duval E., Le Roy P., 2003. INRA Productions Animales, 16, 159-173.
Sellier P., Chevalet C., Valin C., 2002. Viandes et Produits Carnés, hors-série « 9èmes JSMTV », 10-12.
Sudre K., Leroux C., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Martin P., 2005. Molecular and Cellular Probes, 19, 61-70.

APPROCHES COMBINEES DE GENOMIQUE POSITIONNELLE (RECHERCHE DE QTL) ET EXPRESSIONNELLE (ETUDE DU TRANSCRIPTOME) POUR IDENTIFIER DES GENES CONTROLANT LA QUALITE DE LA VIANDE CHEZ LE POULET.

LE BIHAN-DUVAL E.[1], BERRI C.[1], PITEL F.[2], NADAF J.[1], SIBUT V.[3], JENKINS C.[1], DUCLOS M.J.[1]

[1] INRA- STATION DE RECHERCHES AVICOLES, 37380 NOUZILLY ; [2] INRA- LABORATOIRE DE GENETIQUE CELLULAIRE, 31326 CASTANET-TOLOSAN CEDEX ; [3] ITAVI, STATION DE RECHERCHES AVICOLES, 37380 NOUZILLY.

Introduction : contexte économique et scientifique

Outre les gains de productivité apportés par une meilleure connaissance des besoins alimentaires, les progrès de la médecine vétérinaire ou encore la rationalisation des modes d'élevage, la génétique a largement contribué à l'essor de la filière avicole (Beaumont et al., 2004). Elle a notamment permis des progrès considérables sur les performances de croissance et la composition corporelle des volailles de type chair. Mais, après des décennies de développement de la filière avicole, les données économiques sont aujourd'hui moins favorables avec, entre 1998 et 2005, une baisse de 17% de la production française de volailles (Magdelaine, 2006). Néanmoins, le marché national s'est largement diversifié et des perspectives importantes de développement subsistent principalement pour les produits élaborés. On estime qu'entre 2005 et 2010, leur part de marché pour la viande de poulet devrait croître de plus de 5%, passant ainsi de 23% à 28% (Magdelaine, 2006).

Maîtriser la qualité technologique de la viande, pour proposer des produits adaptés au marché et de qualité optimal pour les consommateurs, est devenu un enjeu majeur pour le maintien des filières françaises ou plus largement européennes. Comme chez le Porc, la cinétique de chute du pH dans le muscle après la mort de l'animal est un élément déterminant de la qualité de la viande de volailles, même si ceci n'exclut pas l'impact d'autres facteurs. Ainsi, des viandes à pH ultime faible ou à vitesse de chute de pH élevée sont caractérisées par un faible pouvoir de rétention en eau et par une texture dure et sèche de la viande après cuisson (Barbut 1996, 1997). Elle sont parfois qualifiées de PSE (pour Pale, Soft, Exudative). Des viandes à haut pH sont peu adaptées à la conservation en raison d'un risque de développement microbien accéléré (Allen et *al.*, 1997, 1998). Des études actuellement menées sur des sites français d'abattage et de transformation montrent que le pH final du filet de poulet (le muscle actuellement le mieux valorisé) est extrêmement variable, y compris pour un même lot d'élevage et d'abattage (Brunel *et al.*, 2006 ; Figure 1). Des adaptations technologiques, tel qu'un tri de la viande sur sa couleur (Popot *et al*., 2006), sont donc aujourd'hui envisagées afin de maîtriser les rendements de transformation et limiter les impacts négatifs sur la qualité des produits élaborés. Néanmoins, des gains substantiels pourraient aussi être faits par une amélioration en amont de la qualité de la matière première.

Le métabolisme musculaire post-mortem est influencé par de nombreux paramètres (Berri, 2000). Le pH ultime de la viande est en grande partie déterminé par les réserves en glycogène du muscle au moment de l'abattage, comme le montre la corrélation génétique de -0,97 entre potentiel glycolytique post-mortem et pH ultime du filet obtenue dans une lignée lourde de poulet (Debut et *al.*, 2005a). La vitesse initiale de chute de pH est quant à elle fortement influencée par le niveau de stress de l'animal juste avant sa mort, *via* des réponses comportementales et physiologiques (Debut et *al.*, 2004, 2005b; Berri *et al*.,2005b). Des données récentes obtenues chez le poulet indiquent une forte composante génétique du déterminisme des caractéristiques musculaires et de la qualité des viandes, renforçant l'intérêt d'une approche de sélection pour améliorer la qualité des viandes. Toutefois, la mise en œuvre d'une telle approche est aujourd'hui freinée par la nécessité d'abattre les animaux pour estimer la qualité, ce qui implique des coûts de mesures importants et une diminution de l'efficacité de la sélection. Disposer de marqueurs moléculaires semble donc indispensable si l'on veut accroître les efforts de sélection sur la qualité. Si ce type de sélection pourrait en premier lieu concerner la production standard, principale source d'approvisionnement pour l'industrie de la découpe et de la transformation, elle pourrait aussi à terme s'appliquer aux filières alternatives de type label et certifiée qui se sont largement développées en France. Ces filières sont aujourd'hui principalement tournées vers le marché du poulet entier (avec plus de 65% des parts de marché), mais devront dans les années à venir s'adapter aux nouveaux débouchés de la découpe et des produits élaborés pour continuer à se développer, ou même se maintenir.

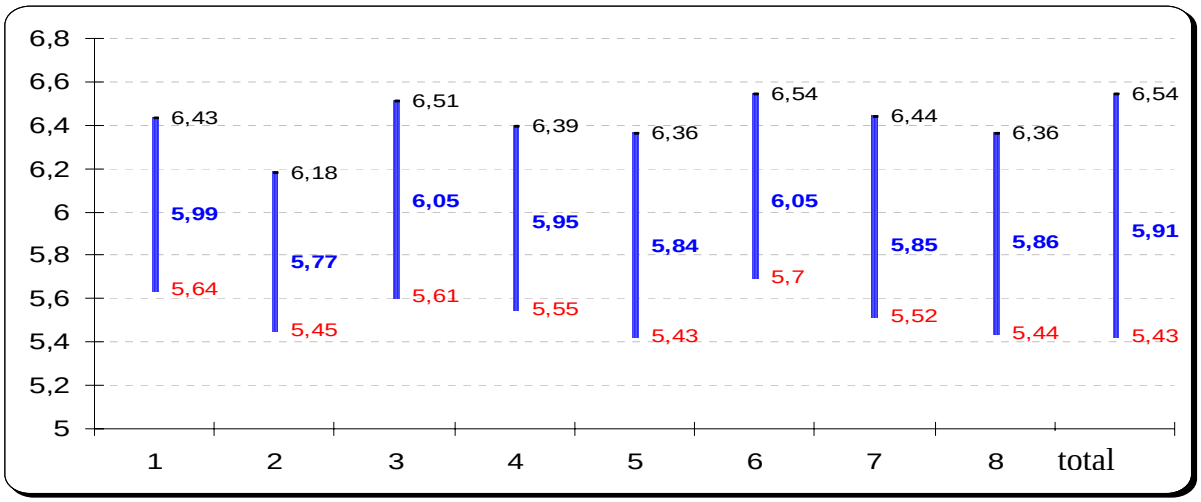


Figure 1 : Variabilité du pH ultime du filet dans des lots de poulets standards (N=1 à 8 avec 280 animaux mesurés par lot) abattus sur site industriel (Brunel et *al.*, 2006)

Les modèles d'études: apports des lignées expérimentales et commerciales

En aviculture, la diversité des modes de production s'appuie sur des génotypes variés, présentant des performances de croissance et de composition corporelle bien démarquées. Ainsi, s'il faut aujourd'hui moins de 6 semaines à un poulet de type standard pour atteindre le poids requis par le marché (environ 2 kg), les souches de type label à croissance lente l'atteignent avec une durée minimale d'élevage de 81 jours (fixée par la notice technique du poulet Label Rouge). Des variations de composition corporelle existent aussi, certaines souches de type standard ayant été sélectionnées pour un fort développement musculaire et un faible engraissement. Des études récentes menées dans des lignées expérimentales divergentes ou au sein d'un génotype commercial de poulet ont montré que les caractéristiques physico-chimiques, le métabolisme post-mortem et la qualité de la viande du filet peuvent varier en fonction des performances de croissance et de composition corporelle des animaux. Ainsi, chez des poulets commerciaux à fort potentiel de croissance, le développement musculaire apparaît lié à une hypertrophie des fibres qui s'accompagne d'une diminution des réserves en glycogène estimées par le Potentiel Glycolytique (PG) post-mortem (Berri et *al.*, 2005a). La corrélation génétique entre poids du filet et PG a été estimée au sein de cette lignée à -0.64 (±0.09), et celle entre poids du filet et pH ultime à 0.86 (±0.07) (Debut *et al.*, 2005a). En conséquence, accroître le potentiel génétique pour le développement musculaire conduit dans ce génotype à une viande du filet moins pâle, moins exsudative et plus tendre une fois cuite. Par ailleurs, la comparaison de deux lignées de poulets, dites « maigre » et « grasse », sélectionnées de façon divergente pour l'engraissement abdominal (Leclercq *et al.*, 1980) a montré que les animaux les plus maigres présentaient des teneurs en glycogène musculaire dans le filet plus faibles (Berri et al., 2005c). Ceci se traduisait par une augmentation du pH ultime, donc une viande moins pâle et moins exsudative (Tableau 1). Ce lien entre engraissement et qualité des viandes avait déjà été suggéré dans une autre lignée expérimentale de poulet de type chair, avec une corrélation génétique de -0,52 entre pourcentage de gras abdominal et pH ultime (Le Bihan-Duval *et al.*, 2001).

La sélection sur la vitesse de croissance peut aussi entraîner une modification des caractéristiques musculaires et de qualité de la viande chez le Poulet. Tel est le cas pour les lignées lourde et légère sélectionnées à l'INRA (Ricard, 1975), extrêmement différentes tant sur le plan du poids vif que de la composition corporelle des oiseaux (Tableau 1). Dans ce modèle expérimental, la sélection pour une augmentation du poids vif est associée à une vitesse de chute du pH plus importante (révélée par un pH à 15 min post-mortem plus faible), un pH ultime plus bas et une coloration moindre dans le rouge et dans le jaune de la viande du filet. Ces variations du métabolisme post-mortem semblent en partie dues aux variations des réserves en glycogène disponibles dans le muscle à la mort de l'animal mais aussi à celles de l'activité physique des oiseaux sur la chaîne d'abattage. Ainsi, le génotype à croissance « rapide » présente un Potentiel Glycolytique dans le filet plus important et une activité physique plus soutenue, conduisant à une acidification du muscle à la fois plus rapide et plus prononcée. D'abord développées comme modèle d'étude de la croissance et de la composition corporelle, les lignées divergentes de poulet précédemment évoquées s'avèrent donc également pertinentes pour la recherche des gènes impliqués dans la qualité des viandes, qu'ils soient porteurs d'une mutation causale ou éléments d'une cascade de régulations.

Tableau 1 : Poids vif, composition corporelle et caractéristiques de qualité de viande dans le filet (moyenne ± écart-type) des poulets légers à croissance lente ou lourds à croissance rapide, et maigres ou gras abattus à l'âge de 9 semaines.

Caractères	légers (n=56)	lourds (n=53)	Effet lignée (p)	maigres (n=60)	gras (n=60)	Effet lignée (p)
Croissance corporelle						
Poids vif (g)	683 ± 67	1922 ± 157	<.0001	2522 ± 193	2627 ± 162	<.001
% gras abdominal	0.2 ± 0.2	2.5 ± 0.7	<.0001	1.4 ± 0.5	3.9 ± 0.7	<.001
% filet	10.44 ± 0.75	11.37 ± 0.84	<.0001	12.8 ± 0.9	11.5 ± 0.9	<.001
% cuisse	22.03 ± 0.68	23.24 ± 0.86	<.0001	NA	NA	NA
Indicateurs de qualité						
Luminosité (L*)	45.6 ± 1.8	48.3 ± 3.2	<.0001	44.9 ± 2.6	47.4 ± 2.7	<.001
Indice de rouge (a*)	1.6 ± 0.7	-0.2 ± 0.8	<.0001	-0.3 ± 0.7	-1.0 ± 0.7	<.001
Indice de jaune (b*)	13.3 ± 1.4	9.4 ± 1.2	<.0001	9.3 ± 1.0	8.3 ± 1.3	<.001
pH à 15 min post-mortem	6.33 ± 0.16	6.20 ± 0.22	0.0004	6.38 ± 0.21	6.36 ± 0.22	NS
pH ultime	6.14 ± 0.14	5.74 ± 0.09	<.0001	5.79 ± 0.12	5.66 ± 0.11	<.001
Pertes par exsudation (%)	2.1 ± 1.5	2.3 ± 1.2	NS	1.1 ± 0.6	1.4 ± 0.6	<.05

NS = non significatif; NA= données manquantes

Apport de la génomique positionnelle : détection de QTL

Le développement des techniques de biologie moléculaire a permis dans de nombreuses espèces d'intérêt agronomique la construction de cartes génétiques, organisées en groupes de liaisons rassemblant eux-mêmes plusieurs marqueurs génétiques, servant de « balises » sur le génome. Ces marqueurs génétiques, fragments d'ADN, sont polymorphes c'est-à-dire qu'ils présentent plusieurs formes ou « allèles ». Bien que la disponibilité de la séquence de la poule laisse entrevoir une évolution des techniques de génétique moléculaire utilisant de plus en plus les SNP (Single Nucleotide Polymorphism, mutation d'une base au sein d'un fragment d'ADN), les marqueurs les plus utilisés actuellement sont encore les microsatellites, dont le polymorphisme correspond à des nombres variables de répétitions de motifs courts (2 à 4 pb) sur l'ADN. Nous en comptions environ 800 sur la carte consensus publiée en 2000 (Groenen et *al.*, 2000). Bien répartis sur l'ensemble du génome, ces marqueurs ont été largement utilisés pour les approches globales de criblage du génome. C'est notamment le cas pour les recherches de QTLs (ou Quantitative Trait Loci), qui correspondent à des régions chromosomiques contenant un ou plusieurs gènes dont la variation entraîne une modification significative des caractères d'intérêt mesurés sur les animaux (ou phénotypes). Comme l'illustre la Figure 2, la détection des QTLs repose sur la comparaison, au sein de familles informatives, de la performance moyenne des phénotypes entre les deux groupes d'animaux ayant reçu de leurs parents (notés F1) les allèles M1 ou M2 pour un marqueur donné. Si cette différence existe, on peut supposer que le marqueur M est transmis physiquement en même temps qu'un gène Q affectant le caractère (le Roy, 2001). Les statistiques de test (par analyse de la variance ou Maximum de Vraisemblance ; Elsen, 2001, Kao, 2000) permettent de comparer l'hypothèse H1 de la ségrégation d'un QTL en une position donnée du génome contre l'hypothèse H0 d'absence de QTL, et de conclure (au risque de première espèces près de se tromper) à l'existence d'un QTL dans le groupe de liaison étudié.

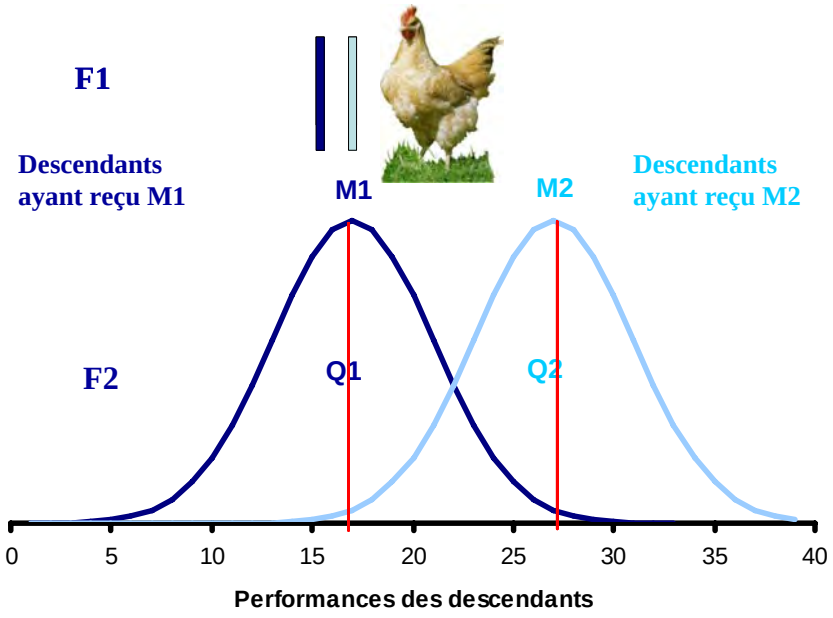


Figure 2 : Principe général de la détection d'un QTL (Q) influençant le caractère d'intérêt à partir de l'information au marqueur M.

Si des premiers QTLs ont déjà été rapportés chez le poulet par exemple pour la croissance ou la composition corporelle (Hocking, 2005), chez les volailles très peu de dispositifs ont inclus des mesures de qualité de la viande. C'est une des originalités du programme de recherche de QTLs initié en collaboration entre l'INRA et plusieurs équipes américaines sur les souches expérimentales de poulets légers ou lourds et maigres ou gras sélectionnés à l'INRA. Pour chacun de ces deux modèles d'étude, nous avons constitué un croisement de seconde génération, avec près de 700 animaux F2. Ceux-ci ainsi que leurs parents et grand-parents ont été génotypés pour un grand nombre de marqueurs microsatellites (environ 120) répartis de manière aussi uniforme que possible sur le génome. Chez les descendants F2, outre un suivi de la croissance, des mesures de taille et de composition corporelle des animaux, des indicateurs plasmatiques (glycémie, concentrations en IGF et acides gras libres), la qualité de la viande des animaux a aussi été évaluée grâce à plusieurs indicateurs : mesures précoce et finale du pH (à 15 min. et 24 h post mortem), luminance (L *), indices de rouge (a *) et de jaune (b *), pertes en eau par exsudation. A ce stade du projet, différentes régions QTL ont déjà été identifiées sur le croisement entre lignées lourde et légère, contrôlant d'une part les caractéristiques de croissance ou de composition corporelle des oiseaux et d'autre part la qualité de leur viande. Au vu des premiers résultats, il s'agit plutôt de régions différentes affectant ces deux grands groupes de caractères. En terme de qualité de la viande, une région très hautement significative a été identifiée sur le chromosome 11 pour les mesures de couleur, a* et b* (Figure 3).

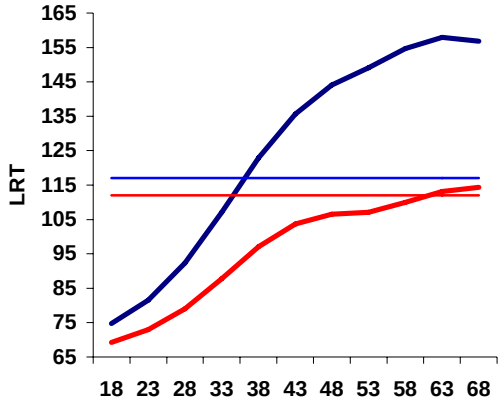


Figure 3. Profil de vraisemblance (Likelihood Ratio Test LRT) et seuil de signification à 1% du QTL sur le chromosome 11 pour les indices du jaune (courbe supérieure) et du rouge (courbe inférieure).

Deux régions significatives pour le pH15 ont aussi été identifiées sur le chromosome 1 et le chromosome 2, à proximité pour le chromosome 1 d'un QTL affectant les pertes par exsudation. Des analyses complémentaires avec le logiciel QTLMAP (le Roy *et al.*, 1998) se poursuivent en intégrant dans les modèles utilisés l'information conjointe sur plusieurs caractères ; ceci à la fois pour gagner en puissance de détection et en précision dans la localisation des QTLs, et pour mieux évaluer leurs éventuels effets pléiotropiques, c'est-à-dire sur plusieurs phénotypes à la fois (Gilbert et Le Roy, 2003). A court terme, la suite du projet va consister à valider ces premières régions et à en identifier de nouvelles au sein du croisement entre lignées « grasse » et « maigre ». La localisation de ces QTLs reste néanmoins très imprécise : plusieurs dizaines de centimorgans (de 20 à 50), contenant plusieurs centaines de gènes candidats putatifs. Comme le soulignent Bidanel et Genêt (2001), cette faible résolution n'est pas en soi un obstacle à l'utilisation de ces résultats, par exemple pour une sélection assistée par marqueurs (SAM) ou l'introgression dans une population des allèles favorables au QTL. Elle induit cependant à moyen ou long terme des pertes d'efficacité de ces programmes, liées notamment à une rupture de l'association entre marqueurs et QTL. Idéalement, il faudrait arriver à identifier la mutation causale, qui permettrait un typage simple des animaux candidats à la reproduction. En première approche, les régions QTL les plus significatives pour la qualité de la viande devront être précisées au sein des croisements expérimentaux en développant à partir de la séquence du poulet de nouveaux marqueurs, de type microsatellites ou SNP dans les régions d'intérêt. Même si les populations expérimentales peuvent constituer des supports pertinents pour des premières recherches de QTLs, l'utilisation de ces résultats en sélection exige une étape de validation dans les populations commerciales. Chez le Poulet, cette démarche pourra notamment être menée dans un génotype lourd largement caractérisé en terme de qualité (Debut et al., 2005a ; Berri et al., 2005a).

En complément de cette approche positionnelle, nous souhaitons mettre à profit les connaissances acquises dans d'autres espèces, en testant par exemple l'effet chez la volaille de gènes majeurs identifiées chez le Porc. Les vitesses de chute du pH observées chez le poulet ou la dinde présentent en effet des similarités avec le syndrome de type PSE observé chez le Porc, et du à une mutation de type C/T dans le gène codant pour la protéine musculaire RYR1 (canal calcique également dénommé récepteur à la ryanodine). Chez le poulet, deux isoformes, RYR1 et RYR3, de ces récepteurs ont été identifiés (Ottini *et al.*, 1996) et leurs gènes respectifs sont positionnés. Le développement de marqueurs moléculaires à proximité ou au sein de ces deux gènes doit nous permettre de préciser leur impact potentiel sur la cinétique de chute du pH chez le poulet. De façon analogue, il faudra tester l'implication du gène de l'AMP kinase PRKAG3 (ou gène RN pour Rendement Napole), porteur chez le Porc d'une mutation responsable d'un excès de glycogène musculaire et donc d'une viande acide (Milan *et al.*, 2000).

Apport de la génomique expressionnelle

Le développement récent dans les espèces d'intérêt agronomique, dont le poulet, d'outils d'analyse à grande échelle du niveau d'expression des gènes fait aujourd'hui entrevoir de nouvelles possibilités pour identifier les gènes impliqués dans les variations de qualité. Des puces à ADN (ou microarrays) portant l'empreinte d'environ 14000 gènes uniques ont notamment été développées à l'université du Delaware (Cogburn *et al*., 2004). Elles ont permis d'engager un programme de comparaison du transcriptome (niveaux des messagers) du muscle pectoral de ces mêmes lignées maigre ou grasse et lourde ou légère. Les analyses réalisées pour ce dernier modèle, entre 1 et 11 semaines d'âge, montrent qu'un nombre assez important de gènes (d'environ 100 à plus de 1000 selon le stade) présentent une niveau d'expression différent entre les lignées «lourde » ou « légère ». Nous étudions maintenant plus précisément les gènes différentiellement exprimés à plusieurs stades de développement de l'animal, en quantifiant plus finement leur expression par RT-PCR. En parallèle, la caractérisation du transcriptome musculaire des lignées « maigre » et « grasse » a débuté, et sera prochainement complétée par celle d'animaux à « fort » ou « faible » Potentiel Glycolytique de la lignée commerciale déjà évoquée. Ces travaux bénéficieront des avancées récentes dans l'élaboration des biopuces, avec le passage chez le poulet aux puces oligonucléotides (ARK genomics ; CRB-GADIE à l'INRA), plus sensibles et contenant un plus grand nombre de gènes (environ 22000 gènes uniques).

Ces approches de génomique expressionnelle devraient aboutir à une liste de gènes, s'exprimant différentiellement, et potentiellement reliés aux variations des caractéristiques musculaires et de qualité de la viande entre les groupes d'animaux étudiés. En parallèle, les approches de génomique positionnelle (recherche de QTLs) vont permettre d'identifier des régions chromosomiques responsables des variations de qualité et donc de générer une liste de gènes potentiellement porteurs des mutations causales. D'ores et déjà nous voyons la nécessité, à cette étape des recherches, de développer des approches bioinformatiques pour intégrer au mieux l'information apportée par les listes de gènes candidats positionnels (issus des analyses QTL) ou fonctionnels (issus des études d'expression). De nombreuses informations sur la fonction des gènes peuvent être fournies par les banques de données généralistes, spécialisées, ou d'annotations (telle que GeneOntology). Récemment, d'autres outils ont aussi été développés pour faciliter l'étude des voies de régulation et établir un lien éventuel entre gènes candidats positionnels et fonctionnels. Ainsi, le logiciel « Génomatix » (http://www.genomatix.de/company/people.html) réalise des analyses *in silico* des voies de régulation. Cet outil permet notamment d'obtenir une représentation graphique, sous forme de réseaux, de l'ensemble des gènes de la liste de départ (par exemple co-localisés dans une même région QTL) et des gènes co-cités dans la littérature (Figure 4). Les réseaux obtenus peuvent ainsi permettre d'identifier mais aussi de compléter des groupes de gènes présentant des cinétiques d'expression similaires. L'analyse des gènes candidats a aussi pour objectif d'identifier les transcrits (différentes formes d'ARNm) et les promoteurs correspondants. *In fine*, il s'agit de reconstruire les cascades de régulation pour pouvoir y déceler en amont le rôle éventuel de gènes candidats positionnels.

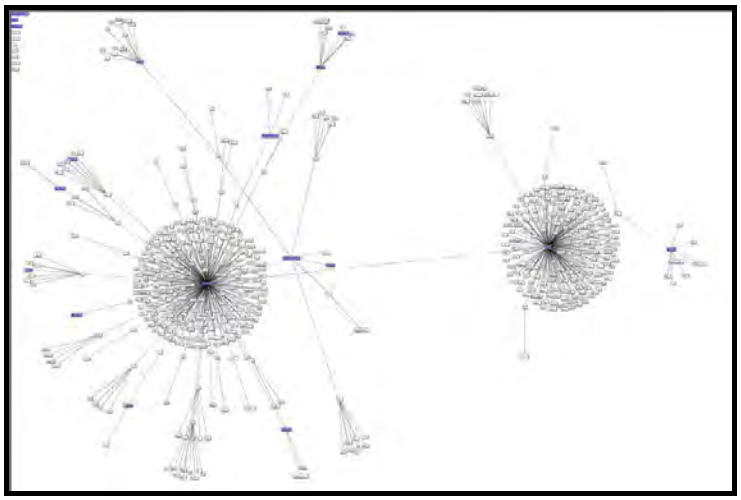


Figure 4 : Représentation des gènes de la liste d'entrée (en bleu) et des gènes co-cités (en gris) dans la littérature (BiblioSphère de Génomatix)

Une caractérisation fonctionnelle des régions QTLs impliquées dans les variations de qualité de la viande peut aussi être envisagée par une approche expérimentale de type « eQTL ». Si l'on réserve le terme de QTL à des régions responsables de la variabilité d'un caractère quantitatif (par exemple un indicateur de qualité de viande), la notion de eQTL se rapporte à la détection de régions contrôlant la variabilité d'expression d'un gène. Cette démarche a déjà été appliquée avec succès chez la levure (Brem et *al.*, 2002) et la souris (Schadt *et al*., 2003). Elle est aujourd'hui en cours d'expérimentation chez le poulet dans des études sur le contrôle de la croissance et l'engraissement (projet GENANIMAL, 2004) et de la qualité des viandes (projet GENANIMAL QualViVol, 2005), utilisant des croisements de type back-cross ou F2 entre les lignées maigre et grasse. En pratique, la démarche retenue pour la qualité des viandes s'intéressera plus particulièrement aux gènes impliqués dans les variations du Potentiel Glycolytique (PG) musculaire et donc du pH ultime de la viande ; elle consistera à mesurer par RT-PCR l'expression de gènes candidats fonctionnels (choisis en fonction des connaissances sur les voies métaboliques impliquées) ou expressionnels (issus des résultats des

études du transciptome) chez des animaux extrêmes des familles du dispositif F2. La co-localisation de régions QTL contrôlant les paramètres de qualité (PG et pHu) et eQTL impliquées dans l'expression de gènes devrait permettre d'identifier des voies de régulation et d'avancer dans la recherche du ou des gènes causaux. Cette approche nous permettra aussi de voir dans quelle mesure travailler sur des mesures d'expression reliées au caractère quantitatif (ici le PG) pourrait, du fait d'une meilleure caractérisation du phénotype, permettre une localisation plus précise des QTLs déjà identifiés.

Conclusions

Les recherches menées pour identifier les gènes impliqués dans la qualité des viandes de volailles bénéficient comme pour les autres caractères des progrès considérables réalisés ces dernières années dans les domaines de la biologie moléculaire ou encore de la bioinformatique. Ces progrès font obligatoirement évoluer notre démarche scientifique, qui implique de plus en plus de disciplines complémentaires. Les connaissances acquises sur les modèles expérimentaux sont aussi un point crucial de ces recherches, afin d'identifier les conditions expérimentales les plus pertinentes et de préciser les mécanismes physiologiques sous-jacents.

Références bibliographiques

Allen C. D., Russel S. M., FletcheR, D. L., 1997. *Poultry Science* 76: 1042-1046.
Allen C.D., Fletcher D.L., Northcutt J.K., Russel S.M., 1998. *Poultry Science,* 77: 361-366.
Barbut S., 1996. *Canadian Journal of Animal Science,* 76: 455-457.
Barbut S., 1997. *British Poultry Science,* 38: 355-358.
Beaumont C., Le Bihan-Duval E., Juin H., Magdelaine P., 2004. INRA Productions Animales, 17(4) : 264-273.
Berri C., 2000. World's Poultry Science Journal, 56: 209-224.
Berri C., Debut M., Le Bihan-Duval E., santé-Lhoutellier V., Haj Hattab N., Jehl N., Jégo Y., Duclos M., 2005a. 6èmes Journées de la Recherches Avicoles, Saint Malo, France, 30-31 mars, 445-449.
Berri C., Debut M., Santé-Lhoutellier V., Arnould C., Boutten B., Sellier N., Baéza E., Jehl N., Jégo Y., Duclos M.J., Le Bihan-Duval E., 2005b. *British Poultry Science,* 46: 572-579.
Berri C., Le Bihan-Duval E., Baéza E., Chartrin P., Millet N., Bordeau T., 2005c. XVIIth European Symposium on the Quality of Poultry Meat; Doorwerth (NLD); 2005/05/23-26, 266-270.
Bidanel J.P., Genêt C., 2001. Séminaire "QTL – De la détection à l'utilisation" du département de Génétique Animale de l'INRA. Batz-sur-Mer, 24-26 Septembre 2001.
Brem R.B., Yvert G., Clinton R.,Kruglyak L., 2002. Science, 296: 752-755.
Brunel V., Debut M., Berri C., Le Bihan-Duval E., Travel A., Bordeau T, 2006. Journée volailles sous signes officiels de qualité, Angers.
Cogburn L.A., Wang X., Carré W., rejto L., Aggrey S.E., Duclos M.J., Simon J., Porter T., 2004. Comparative and functional genomics, 5: 253-261.
Debut M., Berri C., Baeza E., Arnould C., Guémené D., Santé-Lhoutellier V., Boutten B., Jégo Y., Beaumont C., Le Bihan-Duval E., 2005a. 6èmes Journées de la Recherches Avicoles, Saint Malo, France, 30-31 mars 2005, 524-528.
Debut M., Berri C., Arnould C., Guemené D., Santé-Lhoutellier V., Sellier N., Baéza E., Jehl N., Jégo Y., Beaumont C., Le Bihan-Duval E., 2005b. *British Poultry Science,* 46: 527-535.
Duclos M.J., Jenkins C., Le Bihan-Duval E., Simon J., Porter T.E., Aggrey S.E., Cogburn L.A., 2005. Proceedings of the 4th European Poultry Genetics Symposium, Dubrovnik (Croatie), 6-8 Octobre.
Elsen J.M., 2001. Séminaire "QTL – De la détection à l'utilisation" du département de Génétique Animale de l'INRA. Batz-sur-Mer, 24-26 Septembre 2001,11-21.
Gilbert H., Le Roy P., 2003. Genetics Selection Evolution, 35: 281-304.
Hocking P.M., 2005. World's Poultry Science Journal, 61 (2): 215-226.
Kao C.H., 2000. Genetics, 156: 855-865.
Le Bihan-Duval E., Berri C., Baéza E., Millet N., Beaumont C., 2001. *Poultry Science,* 80: 839-843.
Leclercq B., Blum J.C., BOYER J.P., 1980. *British Poultry Sciencen,* 21: 107-113.
Le Roy P., Elsen J.M., Boichard D., Mangin B., Bidanel J.P., Goffinet B., 1998. Proceedingsof the *6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Armidale, 26: 257-260.
Le Roy, P. 2001. Séminaire "QTL – De la détection à l'utilisation" du département de Génétique Animale de l'INRA. Batz-sur-Mer, 24-26 Septembre 2001, 1-5.
Magdeleine P., 2006. 2nde Edition des Jeudis de la WPSA, 23 Mars 2006, Le Mans (FRANCE).
Milan D., Jeon J.T., Looft C., Amarger V., Robic A., Thelander M., Roger-Gaillard C., Paul S., Lannucelli N., Rask L., Ronne H., Lundström K., Reinsch N., Gellin J., Kalm E., Le Roy P., Chardon P., Andersson L., 2000. Science, 288: 1248-1251.
Ottini L., Marziali G., Conti A., Charlesworth A., Sorrentini V., 1996. Biochemical Journal, 315: 207-206.
Popot J, Girard J., Drouet L., 2006. 2nde Edition des Jeudis de la WPSA, 23 Mars 2006, Le Mans (FRANCE).
Ricard, F.H., 1975. *Annales de Génétique et de Sélection Animale,* 7: 427-443.

Schadt E.E., Monks S.A., Drake T.A., Lusis A.J., Che N., Colinayo V., Ruff T.G., Milligan S.B., Lamb J.R., Cavet G., Linsley P.S., Mao M., Stoughton R.B., Friend S.H., 2003. Nature, 422 : 297-302.

SESSION 3

Génomique et qualités des viandes

Animateurs : Michel Duclos (Inra-Tours)
et Gilles Renand (Inra-Jouy en Josas)

Communications orales

MUGENE : APPROCHE INTEGREE COMBINANT LA GENETIQUE, LA GENOMIQUE ET LA BIOLOGIE MUSCULAIRE POUR PREDIRE LA QUALITE DE LA VIANDE BOVINE SELON LE POTENTIEL DE CROISSANCE DES ANIMAUX ET LES FACTEURS D'ELEVAGE

HOCQUETTE J.F. et collaborateurs [1], MORZEL M. et collaborateurs [2], LEVEZIEL H. et collaborateurs [3], RENAND G. et collaborateurs [4]

[1] INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, et [2] Unité Qualité des Produits Animaux, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France, [3] INRA-Université de Limoges, Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, 123, Avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES, [4] Station de Génétique Quantitative Appliquée, INRA, 78352 Jouy-en-Josas cedex FRANCE.

Introduction

Afin de favoriser la production de viande bovine de bonne qualité (par une exploitation génétique objective des animaux ou par l'optimisation des facteurs d'élevage), les objectifs du projet MUGENE sont de (i) déterminer le profil d'expression des gènes associé à la production d'une viande de bonne qualité en fonction du potentiel de croissance musculaire et des facteurs d'élevage, et (ii) de découvrir de nouveaux marqueurs moléculaires ou des gènes polymorphes qui contrôlent la qualité de la viande. L'intérêt de ces gènes sera ultérieurement évalué dans le projet QUALVIGENE. Le programme MUGENE s'inscrit donc dans une démarche intégrative du gène à la viande en passant par le tissu musculaire et l'animal entier.

Le programme est coordonné par JF Hocquette et implique la Station de Génétique Quantitative Appliquée de Jouy-en-Josas (SGQA, Gilles Renand et al.) qui a créé le dispositif expérimental avec les animaux du domaine de Bourges (dispositif « Vachotron »), l'Unité de Recherche sur les Herbivores de Theix (URH, J.F. Hocquette et al.) chargée des études biochimiques, transcriptomiques et protéomiques sur les échantillons musculaires et adipeux prélevés à l'abattage, l'Unité Qualité des Produits Animaux de Theix (QuaPa, M. Morzel et al.) chargée des études biochimiques, mécaniques et protéomiques sur la viande au cours de la maturation, l'Unité de Génétique Moléculaire Animale de Limoges (UGMA, H. Levéziel et al.) chargée de l'étude des gènes (localisation chromosomique, structure, expression, régulation, polymorphismes, analyse des produits d'expression), la Plate-forme protéome de Theix et le Centre de Ressource AGENAE (K. Hugot) chargé de la production de puces à ADN.

Matériel et Méthodes

Ce projet s'appuie sur un programme de localisation de QTL conduit par la SGQA en race Charolaise dans lequel les descendants mâles sont engraissés dans 2 systèmes de production différents (jeunes taurillons *vs* bœufs). Ce dispositif comporte un nombre réduit de familles divergentes quant à leur potentiel de croissance musculaire. L'étude portera sur un effectif d'environ 110 animaux (taurillons ou bœufs).

Nous mettons en œuvre (i) des mesures sur le produit final (analyses sensorielle et mécanique), (ii) des approches biochimiques sur 2 types de muscles différents (le long dorsal et le semitendineux qui produisent une viande de tendreté très différente) et (iii) des études de génomique fonctionnelle sur les mêmes muscles et sur deux tissus adipeux (un de carcasse et un musculaire). Le transcriptome et le protéome sont étudiés sur les 4 tissus prélevés au moment de l'abattage. Le protéome du muscle long dorsal est également suivi au cours de la maturation de la viande. Des études sur la composition corporelle et sur les tissus adipeux de la carcasse compléteront notre connaissance biologique des animaux.

Les analyses du protéome (muscles prélevés au moment de l'abattage puis à 5 et 21 jours de maturation) et du transcriptome (muscles et tissus adipeux prélevés à l'abattage) seront réalisées sur les échantillons des animaux qui divergent par leur potentiel de croissance musculaire, ou par la vitesse de maturation, la force de cisaillement et la qualité sensorielle de leur viande pour découvrir de nouveaux marqueurs moléculaires associés à ces critères. Les premières analyses du transcriptome ont été réalisées avec des MyoChips de la plate-forme Génopole Ouest (INSERM U533, Nantes) dans le cadre de la thèse de C. Bernard et les résultats sont analysés par la méthode SAM ("Significance Analysis of Microarrays"). Pour quelques uns des gènes différentiellement exprimés, une validation des différentiels d'expression est réalisée par RT PCR en temps réel.

Par la suite, les différences observées sur ce dispositif expérimental seront confrontées aux résultats du programme GEMQUAL (Genetics of Meat Quality) du 5ème PCRD, dont l'objectif est de rechercher des SNP détectés dans des gènes candidats qui semblent impliqués dans le déterminisme de la qualité de la viande bovine. La liste des gènes étudiés sera enrichie sur la base des résultats du transcriptome et du protéome de la présente étude. Ainsi, pour les gènes les plus pertinents, la présence des SNP sera recherchée sur les animaux de l'étude, et leur impact sur la variabilité observée des phénotypes sera précisé.

Résultats

Seules les données zootechniques issues de la conduite des animaux (D Krauss et al.), de leur abattage (R. Jailler et al.) et quelques caractéristiques du muscle long dorsal (D. Bauchart, J.F. Hocquette, C. Jurie, A. Listrat, B. Picard) et de la viande (J. Lepetit, H. Dubroeucq et al.) sont actuellement disponibles sur la première cohorte de 25 taurillons. Les

résultats d'abattage ont permis de calculer l'indice de sélection des animaux (IS) qui combine le poids de muscle (positivement) et la teneur en dépôts adipeux (négativement) de la carcasse (G. Renand).
Les données liées aux performances zootechniques (poids de muscle [MU_CARC] et de dépôts adipeux [DA_CARC] dans la carcasse) et aux caractéristiques du muscle et de la viande ont fait l'objet d'une analyse en composante principale (Figure 1). Le premier axe oppose DA_CARC, la teneur en lipides totaux (Lipides) et en triglycérides (TG) dans le muscle avec l'activité Lactate Déshydrogénase (LDH) indiquant que, plus les animaux sont maigres, plus leurs muscles sont glycolytiques (Figure 1A). Les animaux avec l'IS négatif ont tendance à avoir une proportion plus élevée de tissu adipeux dans la carcasse et des muscles moins glycolytiques (Figure 1B). Sur la base de la corrélation IS-LDH, on peut supposer que la sélection génétique tend à favoriser une orientation vers le métabolisme glycolytique.
Le deuxième axe oppose la force de cisaillement (WB) avec la tendreté initiale (TendI) ou globale (TendG), ce qui était attendu. Il oppose aussi la qualité sensorielle (TendI, TendG, flaveur typique [FlTyp] et jutosité [JUT]) avec MU_CARC suggérant qu'une masse musculaire importante ne s'accompagne pas d'une amélioration des qualités des viandes. Les caractéristiques de la trame conjonctive (teneur en hydroxyproline totale [OH-prol tot] ou insoluble [OH-prol ins]), la teneur du muscle en phospholipides et les activités du métabolisme oxydatif (Isocitrate Déshydrogénase [ICDH], Citrate Synthase [CS], Cytochrome-*c* Oxydase [COX]) ne semblent pas être des variables discriminantes. En accord avec des résultats précédents, les caractéristiques du muscle n'expliquent au plus que 33% de la variabilité de la flaveur et 25% de la variabilité de la tendreté, indiquant par là que la population d'animaux est assez homogène.
Des travaux récents d'analyse du transcriptome (C. Bernard, I. Cassar-Malek, J.F. Hocquette) ont mis en évidence 42 gènes dont le profil d'expression est associé à la fois à la tendreté, la jutosité et la flaveur suggérant qu'il est possible d'améliorer simultanément ces trois critères de qualité. L'un de ces gènes est fortement associé à la tendreté et 18 gènes apparaissent plutôt liés à la flaveur et à la jutosité (Bernard *et al.*, 2006).

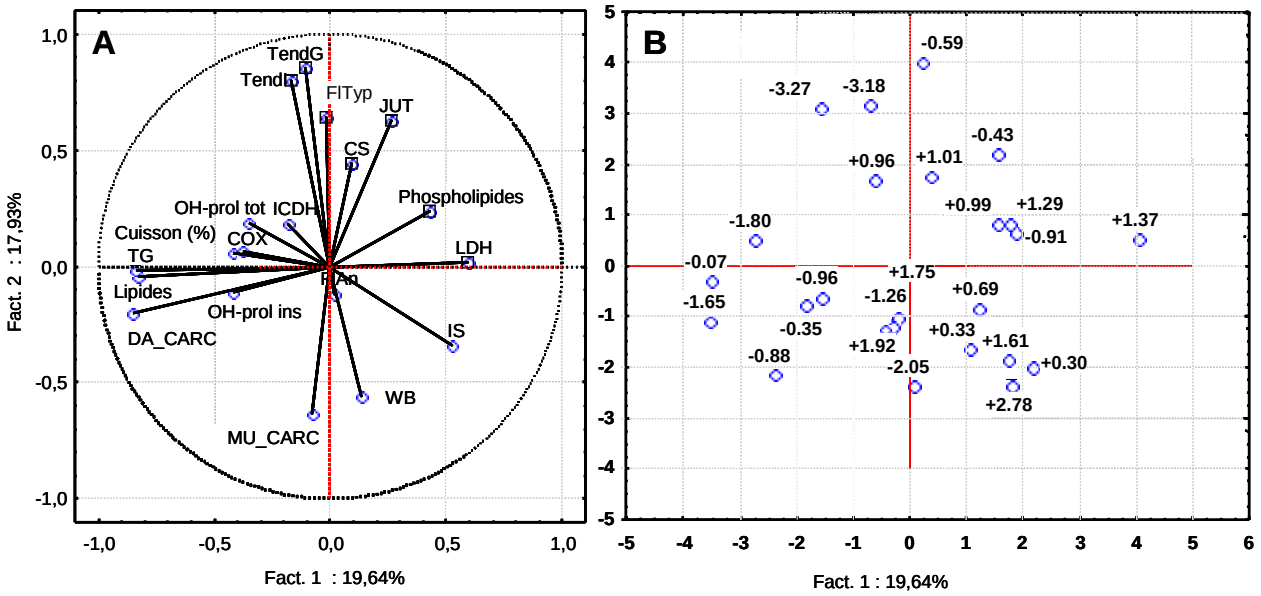


Figure 1. Analyses en composantes principales des données zootechniques, sur le muscle long dorsal et sur la viande issue de ce muscle des 25 taurillons : projection des variables (A) et des individus caractérisés par leur indice de sélection en fonction de leur potentiel de croissance musculaire (B).

Conclusion

Le projet MUGENE a pour objectif d'identifier et d'analyser des gènes déterminant les caractéristiques musculaires et la qualité de la viande (tendreté, flaveur). Pour cela, il s'appuie sur les relations qui pourront être mises en évidence entre l'expression des gènes et des phénotypes divergents d'animaux qui diffèrent par leur potentiel de croissance musculaire, leur mode de conduite, la vitesse de maturation ou la tendreté finale de leur viande. Les premières études du transcriptome confirment la pertinence de cette approche de biologie intégrative en complément des approches biochimiques conduites jusqu'à présent.

Références bibliographiques

Bernard C., Cassar-Malek I., Dubroeucq H., Renand G., Hocquette J.F. (2006). 57th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Antalya (Turkey), 17-20 September 2006.

Remerciements

Ce travail bénéficie d'un financement de l'ANR (150 KE) et d'APIS-GENE (150 KE). Les auteurs remercient l'ensemble du personnel des installations expérimentales, de l'abattoir de Theix et des laboratoires INRA (Limoges, Theix, Jouy-en-Josas) et INSERM (Nantes) concernés.

LOCALISATION DE QTL INFLUENCANT LE TAUX DE LIPIDES INTRAMUSCULAIRE DANS UNE POPULATION F2 DUROC x LARGE WHITE

SANCHEZ M.P.[1], BASSO B.[1], BILLON Y.[2], GILBERT H.[1], IANNUCCELLI N.[3], LARZUL C.[1], RIQUET J.[3], BIDANEL J.P.[1], MILAN D.[3], LE ROY P.[4]

INRA [1]Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas Cedex ; [2]Domaine expérimental du Magneraud, 17700 Surgères ; [3]Laboratoire de Génétique Cellulaire, 31326 Castanet-Tolosan Cedex ; [4] INRA-Agrocampus Rennes, UMR Génétique animale, 35042 Rennes Cedex

Introduction

Janss et al. (1997) ont mis en évidence, par analyse de ségrégation dans des croisements F2 Meishan x races européennes, un gène majeur (MI) influençant le taux de lipides intramusculaires (LIM). Dans cette étude, l'allèle récessif, d'origine Meishan, était associé à une augmentation de la teneur en LIM et l'écart de moyenne entre les homozygotes a été estimé à 2,1%. Cependant, en utilisant cette même population animale, de Koning et al. (1999) n'ont pas cartographié un gène majeur sur le génome du porc mais 4 locus à effets quantitatifs (QTL) sur les chromosomes 2, 4, 6 et 7. La race Duroc présentant une teneur en LIM élevée, il était tentant de rechercher l'allèle fort du gène putatif MI dans cette race. Une population expérimentale F2 Duroc x Large White a donc été créée à l'INRA. Elle nous a permis de détecter, par analyse de ségrégation, un gène majeur de déterminisme similaire à celui de MI (Sanchez et al., 2002). Ce gène majeur est très prometteur pour l'amélioration des qualités sensorielles de la viande de porc car d'une part, son effet est très important (différence entre homozygotes = 1,4%) et d'autre part, il provient de la race Duroc qui, contrairement à la race Meishan, a des performances de croissance et de composition corporelle proches des types génétiques les plus couramment utilisés en production. Il est toutefois difficile d'envisager la sélection de l'allèle favorable sans une localisation préalable du gène sur le génome du porc. Un « genome scan » a donc été réalisé afin de localiser le gène majeur mis en évidence dans la population F2 Duroc x Large White.

Matériel et méthodes

Animaux et dosages des LIM. Huit mâles Duroc (Du) possédant un très haut niveau de LIM et provenant du troupeau de sélection de SELPA S.A. ont été croisés avec 37 truies Large White (LW) de l'élevage INRA du Magneraud (Surgères, Charente Maritime). Parmi les descendants F1, 10 verrats et 32 cochettes ont été croisés pour produire 775 animaux F2. Les animaux Du, F1 et F2 ont fait l'objet d'une biopsie au niveau de la dernière côte à 70 kg de poids vif en vue de doser les lipides dans le muscle *longissimus dorsi*. Les détails de la technique de dosage ainsi que la stratégie du choix des reproducteurs ont précédemment été présentés par Sanchez et al. (2002).

Analyses moléculaires. Suite à l'analyse de 157 marqueurs sur les pères F1, un jeu de 91 marqueurs informatifs et répartis sur le génome a été constitué (3 à 9 marqueurs par chromosome ; figure 1). Les 6 verrats F1 ayant le plus grand nombre de descendants, leurs 21 conjointes, leurs parents (31 F0) et leurs descendants (456 F2) ont été génotypés à partir de l'ADN extrait d'une prise de sang.

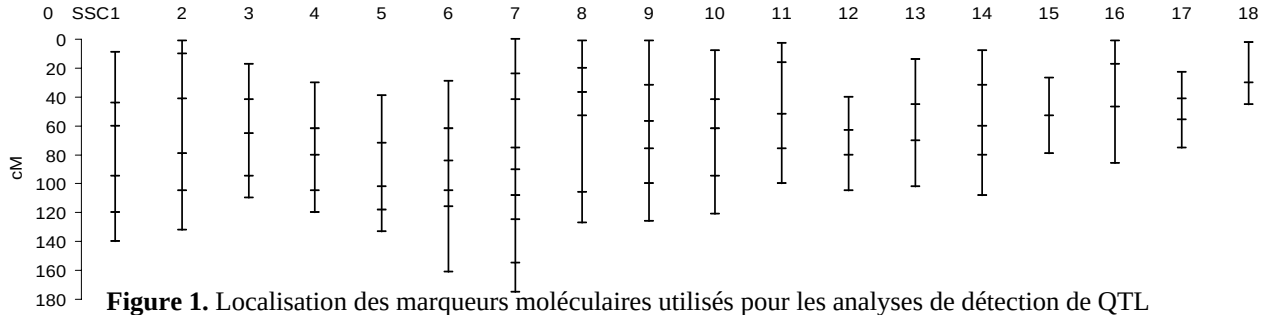


Figure 1. Localisation des marqueurs moléculaires utilisés pour les analyses de détection de QTL

Analyses statistiques. Le taux de LIM des animaux F2 a été corrigé pour la bande de contemporains, le sexe et l'âge à la biopsie par la procédure GLM du logiciel SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC). Les résidus obtenus ont ensuite été analysés avec le logiciel QTLMAP (Le Roy et al., 1998). L'option choisie pour le modèle de description des données suppose la fixation d'allèles différents pour les QTL dans chaque lignée grand parentale. Les distributions de performances sont modélisées intra-famille (variances hétérogènes) et une moyenne est estimée pour chaque génotype *Du/Du*, *Du/LW* et *LW/LW*.

Résultats et discussion

Les analyses mettent en évidence 3 QTL significatifs sur les chromosomes (SSC) 1, 13 et 15 (tableau 1, figure 2). L'allèle associé à une augmentation de la teneur en LIM provient de la race LW et est dominant pour SSC1 alors qu'il provient de la race Duroc et est récessif pour SSC13 et SSC15. La détection de ces 3 QTL qui présentent des effets du même ordre de grandeur (différence entre homozygotes = 0,53% pour SSC1 et 0,46% pour SSC13 et SSC15) est surprenante car les résultats de l'analyse de ségrégation suggèrent l'existence d'un seul QTL avec un allèle Duroc favorable et récessif. Afin d'expliquer ces différences, nous avons étudié l'hétérozygotie des verrats F1 pour chaque QTL détecté. Dans la mesure où aucun marqueur n'est utilisé avec l'analyse de ségrégation et où ce ne sont pas les

mêmes verrats qui sont hétérozygotes pour les QTL de SSC13 et SSC15 (tableau 1), il est probable que le gène majeur détecté par l'analyse de ségrégation corresponde à ces 2 QTL. Les effets individuels de ces QTL sont plus faibles que l'effet estimé par l'AS. Cependant, pour chaque QTL détecté, l'effet est estimé sur les 6 verrats, parmi lesquels 4 ou 5 sont homozygotes, d'où un effet du gène sous-estimé. Quant au QTL de SSC1, il n'a pas pu être détecté par l'analyse de ségrégation car un seul verrat est hétérozygote pour ce QTL et ce verrat est également hétérozygote pour le QTL de SSC15, ce qui doit compenser une partie des effets du QTL de SSC1.

Tableau 1. Résultats des analyses de détection de QTL pour la teneur en LIM du muscle *longissimus dorsi*

SSC	Maximum de vraisemblance[A]	Position (cM)	Moyennes des génotypes : Du/Du	Du/LW	LW/LW	Verrats hétérozygotes (vraisemblance > 3.8, valeur d'un Khi2 à 1ddl)
1	**16.4 ++**	**16**	**-0.34**	**0.15**	**0.19**	**Verrat 4**
2	5.9	29	-0.14	0.21	-0.070	
3	7.1	76	0.061	-0.22	0.16	
4	1.2	62	0.017	-0.063	-0.046	
5	2.9	72	-0.11	0.053	0.059	
6	4.6	98	0.19	-0.11	-0.09	
7	7.2	33	0.12	0.10	-0.23	
8	5.6	1	0.11	0.07	-0.18	
9	6.0	45	-0.18	-0.0063	0.19	
10	6.9	110	0.09	0.15	-0.24	
11	4.1	83	-0.11	0.18	-0.071	
12	4.5	94	0.14	-0.14	-0.0023	
13	**10.6 +**	**52**	**0.27**	**-0.085**	**-0.18**	**Verrat 5**
14	5.2	10	-0.15	0.12	0.030	
15	**11.9 +**	**50**	**0.29**	**-0.12**	**-0.17**	**Verrats 1 et 4**
16	2.0	17	0.075	0.020	-0.094	
17	7.6	56	0.16	-0.010	-0.15	
18	5.2	2	0.082	-0.13	0.051	

[A] Rapport de vraisemblance significatif à 5% (+) ou 1% (++) au niveau du chromosome

Conclusion

Le déterminisme génétique de la teneur en LIM apparaît relativement complexe puisqu'au moins 3 locus indépendants semblent avoir des effets du même ordre de grandeur sur ce caractère. A notre connaissance, ces 3 locus n'ont jamais été décrits auparavant. Des QTL ont été mis en évidence sur les chromosomes 2, 4, 6 et 7 (Hu et al., 2005) mais nous n'avons pas retrouvé d'effets significatifs sur ces régions dans notre population. L'étape suivante consistera à évaluer les effets de ces QTL sur les caractères de croissance, d'adiposité de la carcasse et de qualité de viande mesurés dans la population F2. Il sera ensuite nécessaire de localiser plus finement ces QTL par l'ajout de nouveaux marqueurs moléculaires avant d'envisager leur utilisation dans des programmes de sélection.

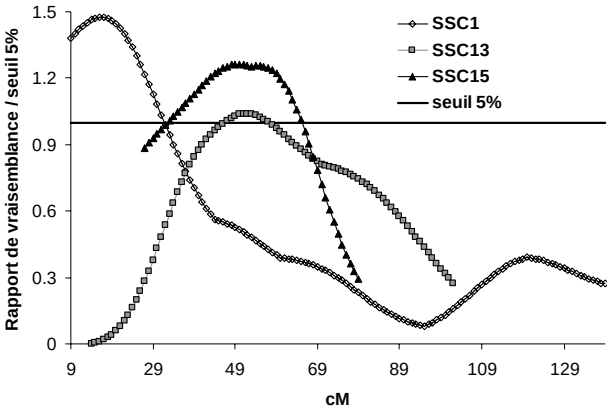


Figure 2. Evolution du rapport de vraisemblance / seuil 5% pour les 3 QTL détectés

Remerciements

Cette étude a été menée dans le cadre de l'AIP INRA « caractéristiques biologiques et qualités de la viande de porc ». Les typages ont été financés par le département de génétique animale et la station de génétique quantitative et appliquée. L'informativité des marqueurs a été déterminée sur la plateforme CRGS de la Génopole Toulousaine, le typage des animaux F2 a été réalisé par Labogena (http://www.labogena.fr). Les auteurs remercient l'ensemble du personnel de l'unité GEPA du Magneraud pour la réalisation des prélèvements, des mesures phénotypiques et des extractions d'ADN.

Références bibliographiques

De Koning D. J., Janss L.L.G., Rattink A. P., van Oers P.A.M., de Vries B.J., Groenen M.A.M., van der Poel J.J., de Groot P.N., Brascamp E.W., van Arendonk J.A.M.., 1999. Genetics 152: 1679-1690.

Hu Z.L., Dracheva S., Jong W., Maglott W., Bastiaansen J., Reecy J., Rothschild M., 2005. Mamm. Genome, 16, 792-800. Disponible : http://www.animalgenome.org/QTLdb/. Accédé le 15 juin 2006.

Janss L.L.G., Van Arendonk J.A.M., Brascamp E.W., 1997. Genetics, 145, 395-408.

Le Roy P., Elsen J. M., Boichard D., Mangin B., Bidanel J. P., Goffinet B., 1998. 6WCGALP, Armidale, Australia XXVI:257-260.

Sanchez M.P., Le Roy P., Griffon H., Caritez J.C., Fernandez X., Legault C., Gandemer G., 2002. J. Rech. Porcine en France, 34, 39-43.

ANALYSE PROTEOMIQUE DU *PECTORALIS MAJOR* DE DEUX TYPES GENETIQUES DE DINDES

MOLETTE C.[1], LAURENT N.[1], PICHEREAUX C.[2], REMIGNON H.[1], BABILE R.[1], FERNANDEZ X.[1]

[1] ZQPA, USC INRA – Phase, ENSAT, BP 32607, 31326 CASTANET TOLOSAN CEDEX
[2] Plateforme protéomique IFR40, 24 chemin de Borde rouge BP 42617, 31326 CASTANET TOLOSAN

Introduction

Dans une étude précédente, nous avons mis en évidence une meilleure aptitude à la transformation des viandes de dindes Label Rouge (LR) (Molette et al., 2005) par rapport à des animaux de type BUT9 (type génétique de dinde le plus utilisé en France). Cette qualité pouvait être mise en relation avec un meilleur pouvoir tampon ainsi que de meilleures extractabilités des protéines sarcoplasmiques et myofibrillaires pour les dindes LR mettant en évidence une meilleure fonctionnalité de ces protéines (Molette et al., 2005). Dans la présente étude, nous avons voulu identifier quelles étaient les protéines impliquées et nous avons choisi pour cela une approche protéomique.
L'analyse protéomique est une approche largement utilisée dans les sciences de la vie pour caractériser et étudier une population de protéines dans un échantillon biologique. L'analyse protéomique se déroule en plusieurs étapes incluant la séparation et la visualisation des protéines en utilisant l'électrophorèse bidimensionnelle (2-DE), la comparaison des gels obtenus, l'excision et l'identification des protéines d'intérêt en utilisant la spectrométrie de masse et la recherche dans les bases de données (Hayduk et al., 2002). Nous avons utilisé cette approche pour comparer les gels 2-DE obtenus à partir de muscles *Pectoralis major* de 2 types génétiques de dindes : BUT9 et LR.

Matériel et méthodes

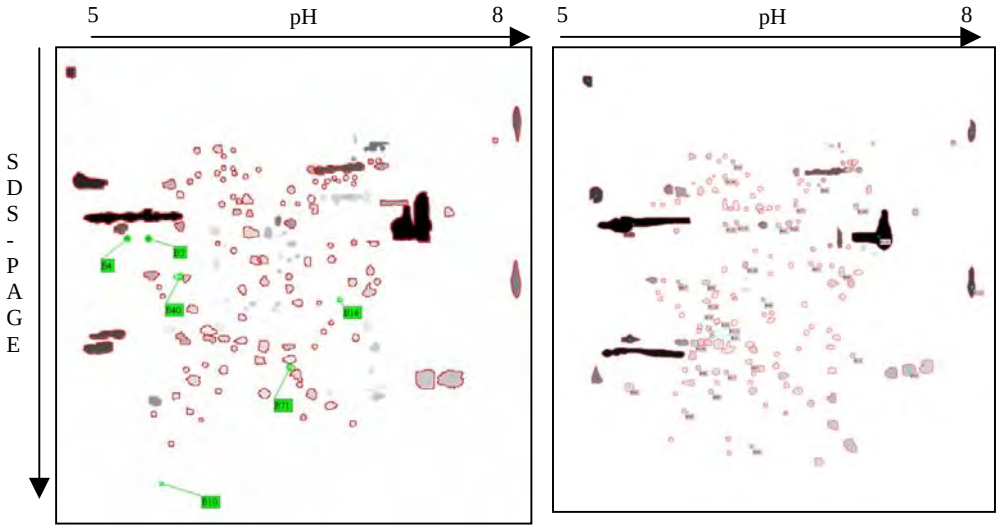
L'élevage des animaux de type BUT9 et LR a été réalisé dans les conditions standard de leur production jusqu'à leur âge d'abattage commercial (BUT9 : ~16 semaines, 12,6 ± 0,8 kg, LR : ~20 semaines, 6,5 ± 0,5 kg). Douze dindons de chaque type de production ont été choisis au hasard. Les deux muscles *Pectoralis major* (PM) ont été prélevés immédiatement après la saignée et placés à 4°C pendant 24h.
Les protéines musculaires ont été extraites à partir de muscle entier d'après la méthode décrite par Weekes et al. (1999). Trois répétitions de chaque pool et 4 pools par type génétique ont été utilisés pour déterminer les différences entre les deux types génétiques. 325 µg de protéines ont été déposés sur des strips contenant un gradient immobilisé de pH entre 5 et 8. L'isoélectrofocalisation a été réalisée d'après les conditions décrites par Weekes et al. (1999). Après une phase d'équilibration, les strips sont placés sur des gels SDS-PAGE contenant 12% d'acrylamide et la seconde dimension est effectuée à 35 mA constant/gel pendant environ 5h. Enfin, les gels sont colorés au bleu de Coomassie G-250 (Molloy et al., 1999).
L'analyse d'image a été réalisée avec le logiciel Image Master 2D Platinium (Amersham Bioscience, Uppsala, Suède). Les spots d'intérêt ont été retenus lorsqu'ils étaient présents sur tous les gels d'un type génétique et absents sur tous les gels de l'autre type génétique. L'identification des protéines a été effectuée à l'aide d'un spectromètre de masse de type MALDI-TOF après digestion trypsique d'après les procédures décrites par Borderies et al. (2003).

Résultats et discussion

L'objectif de cette étude était de mettre en relation des différences de propriétés organoleptiques et technologiques de viandes issues de 2 types génétiques de dinde avec des profils protéiques différents. En effet, nous avons notamment mis en évidence une meilleure aptitude à la transformation des viandes de dindes label Rouge (LR) (Molette et al., 2005). Les gels de synthèse obtenus pour chaque type génétique sont présentés sur la figure 1. Nous avons obtenus 101 spots communs aux 2 types génétiques, 32 présents uniquement chez les animaux LR et 6 seulement présents chez les BUT9. Ces protéines ont été identifiées à l'aide d'un spectromètre de masse de type MALDI-TOF. 40% des protéines ont été identifiées avec succès et sont rapportées dans le tableau 1. Globalement, 53% des protéines identifiées correspondent à des protéines du métabolisme, 13% à des protéines contractiles, 13% à des protéines de défense cellulaire et 20% correspondent à d'autres fonctions. Certaines protéines sont communes aux 2 types génétiques (phosphoglycerate mutase, par exemple). Cependant, ces protéines se trouvent à des positions différentes sur les gels. Cette différence pourrait être expliquée par la présence de 2 isoformes différentes dans les deux types génétiques. Par ailleurs, la présence de deux isoformes de l'actine sur les gels des muscles issus des animaux LR pourrait être mise en relation avec une maturation plus rapide ou plus intense de la viande de ces animaux par rapport à celle des dindes BUT9 (Schreurs, 2000 , Maltin et al., 2003).

Conclusion

L'analyse des protéines musculaires des deux types génétiques a mis en évidence des profils différents. Certaines de ces différences pourraient expliquer en partie les meilleures propriétés technologiques telles que l'aptitude à la transformation des viandes des dindes LR. Il reste toutefois un grand nombre de protéines qui n'ont pas pu être identifiées avec la technologie MALDI-TOF. L'identification des spots se poursuit à l'heure actuelle par LC-MS/MS.



BUT9 LABEL ROUGE

Figure 1. Gels de synthèse obtenus avec Image Master Platinium à partir des gels 2-DE d'extraits de muscles entiers des 2 types génétiques de dindes.

Tableau 1. Synthèse des protéines identifiées avec le MALDI-TOF-MS dans les muscles de dindes BUT9 et Label Rouge. Seules les protéines identifiées sont rapportées dans ce tableau.

N° du spot	Nom de la protéine identifiée	N° d'accession (base de donnée NCBInr)	PM/pI	Recouvrement de séquence
B3	Creatine kinase, M chain	63553	43329/6.5	38%
B4	Creatine kinase, M chain	63553	43329/6.5	25%
B40	*Phosphoglycerate mutase*	53129115	28898/7.0	47%
B71	Heat shock 27kDa protein 1	45384222	21672/5.8	23%
N17	Heat shock 27kDa protein 1	45384222	21672/5.8	25%
N21	α-actin	63029	42051/5.2	31%
N57	Conalbumin	1351295	77777/6.8	17%
N68	Collapsin response mediator protein-3A	2624937	69563/6.4	24%
N87	glycerol-3-phosphate dehydrogenase	50806701	52203/8.9	19%
N89	Prohibitin	88909244	29896/5.6	33%
N108	Myokinase	125149	21683/8.7	53%
N118	Phosphoglycerate mutase	53129115	28898/7.0	66%
N130	lactate dehydrogenase A	45384208	36515/7.8	32%
N131	eukaryotic translation elongation factor 2	4538245	95379/6.4	11%
N152	Actin γ2	45384010	41877/5.3	20%

Références bibliographiques

Borderies G., Jamet E., Lafite C., Rossignol M., Jauneau A., Boudart,G., Montsarrat B., Esquerré-Tugayé E., Boudet A., Pont-Lezica R., 2003. Electrophoresis, 24, 3421-3432.

Hayduk E. J., Choe L. H., Lee K. L., 2002. Current Sci., 83, 840-844.

Maltin C., Balcerzak D., Tilley R., Delday M., 2003. Proc. Nut. Society, 62, 337-347.

Molette C., Rémignon H., Babilé R., 2005. Poult. Sci., 84, 119-127.

Molloy M. F., Herbert B. R., Williams K. L., Gooley A. A., 1999. Electrophoresis, 20, 701-704.

Schreurs F. J. G., 2000. World's Poult. Sci. J., 56, 319-346.

Weekes J., Wheeler C., Yan J. X., Weil J., Eschenhagen T., Scholtysik G., Dunn M. J., 1999. Electrophoresis, 20, 898-906.

EXPRESSION GENIQUE DANS LE MUSCLE *SEMIMEMBRANOSUS* D'OVINS PORTEURS DE LA MUTATION "TEXEL BELGE".

HAMELIN M.[1], FORESTIER L.[2], MILENKOVIC D.[3], LAVILLE E.[1]
1. INRA, Unité Qualité des Produits Animaux, 63122 St Genès-Champanelle, France.
2. UMR 1061, Unité de Génétique Moléculaire Animale, 87060 Limoges, France.
3. INRA, Unité des Maladies Métaboliques et Micronutriments, 63122 St Genès-Champanelle, France.

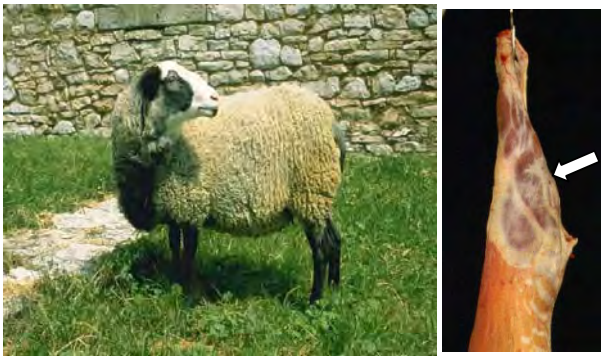
Introduction

Le QTL "Texel" associé au chromosome 2 ovin est partiellement dominant, il induit une hypertrophie musculaire chez le mouton, affectant l'ensemble de la musculature mais surtout les muscles du membre postérieur, sans altération des qualités sensorielles (Marcq et al., 2002). Ainsi son utilisation pour la production d'agneaux présente un intérêt économique évident. L'hypertrophie musculaire chez les animaux Texel ne semble pas s'accompagner d'une altération des principales qualités recherchées par les consommateurs de la viande ovine, tels que tendreté et la flaveur. Cependant le gène est maintenant identifié (Clop *et al.*, 2006), il s'agit de la myostatine (GDF-8). Les travaux entrepris dans ce projet visent à étudier plus particulièrement l'expression de gènes mis en évidence lors d'études du protéome musculaire de ces animaux et impliqués dans le développement musculaire.

Matériel & Méthodes

Notre étude a porté sur le muscle *semimembranosus* (SM) d'agneaux âgés de 3 mois, genotypés au locus 'Texel Belge' : 14 homozygotes TT (hypertrophiés) et 16 homozygotes RR (non-hypertrophiés) et 6 hétérozygotes RT. Ces agneaux sont issus d'une F2 réalisée par croisement d'un mâle Texel belge et de femelles Romanov.

Texel belge TT



Romanov RR

Les gènes que nous avons choisis d'étudier sont l'α1-antitrypsine (A1AT-1), la myostatine (GDF-8), La Glutathion S-transferase-Pi (GST), la transferrine (TF) et le gène SLC40-A1.
Tout d'abord la myostatine et SLC40-A1 deux gènes localisés dans le QTL Texel, à l'époque l'équipe de Michel Georges n'avait pas encore décrit la mutation et son mode d'action (Clop et al., 2006). La myostatine étant en plein cœur du QTL Texel il nous semblait nécessaire vu les similitudes entre le phénotype hyper-musclé Texel et le "Double Muscled" bovin d'étudier son expression chez ces animaux. Nous avons ensuite sélectionné la GST, cette chaperonne est associée à la lutte contre le stress oxydant. Au niveau protéique l'expression de deux de ses isoformes est influencée par le génotype TT (Hamelin et al.; 2005a, 2005b). De même pour la transferrine, un facteur de prolifération myoblastique ayant un rôle clef dans le métabolisme du fer, qui présente une surexpression protéique dans les muscles TT (Hamelin et al., 2005b). Le dernier gène que nous avons testé est l'α1-antitrypsine. Un marqueur potentiel du génotype TT car elle est sous-exprimée au niveau protéique dans tous les muscles TT étudiés. De plus, elle est susceptible d'interagir avec la voie de signalisation de la transferrine.
Nous avons donc procédé à une étude de RT-PCR semi-quantitative en temps réel pour évaluer l'expression des ARN messagers de ces différents gènes. Nous avons utilisés la méthode basée sur l'insertion de la molécule SYBR®green (kit SYBR®green core reagents, Applied biosystems) dans la double hélice d'ADN pour suivre la quantification en temps réel. L'expression (R) est rapportée a celle du témoin de PCR-quantitative, ici la glycéraldéhyde 3-phospate déshydrogénase.
Nous avons utilisé le logiciel XLSTAT version 7.5.3 pour analyser les différences entre les groupes RR, TT, RT. Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour k échantillons indépendants a été appliqué pour déterminer s'il existait une différence dans les moyennes des 3 groupes. Lorsqu'une différence était mise en évidence nous avons appliqué un test t de Student.

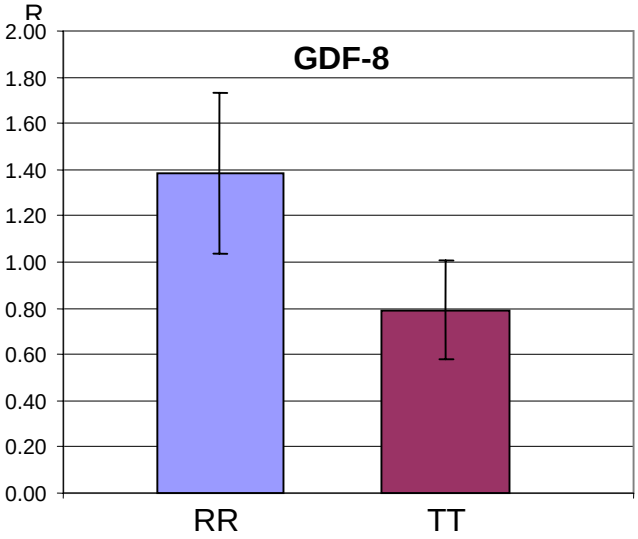
Résultats & Discussions

Nous n'avons pas détecté de différence d'expression pour la Transferrine (TF), SLC40-A1 ou la GST-π (GST) dans le *semimembranosus* (Tableau 1.). L'étude d'expression sur le SM nous a surtout permis de montrer que les ARNm de la myostatine sont moins exprimés (p=0,01) chez les TT que chez les RR (RR/TT = 1,75). Nous pouvons décrire une tendance à la sur-expression de A1AT-1 chez les TT (TT/RR = 1,41). L'hypothèse que nous pouvons avancer est que l'absence de protéine pousse le système à synthétiser plus de messagers en une tentative de rééquilibrage, une forme d'autorégulation de la synthèse des messagers comme c'est le cas pour la synthèse de tubuline, l'absence de monomère de tubuline libre est corrélée a l'augmentation des ARNm de tubuline (Cleveland et al., 1981; Caron et al., 1985).

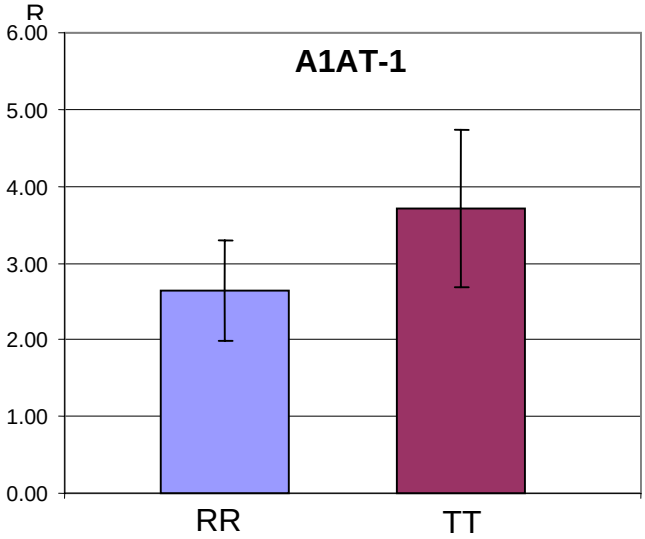
Tableau 1. Expression (R) des ARNm dans le semimembraneux des différents génotypes.

Semimembranosus	A1AT-1	GDF-8	GST	TF	SLC40A1
POOL SM-RR	1	1	1	1	1
moy SM-RR	2.64 ± 0.66	1.38 ± 0.35	1.31 ± 0.33	1.18 ± 0.30	1.08 ± 0.27
moy SM-TT	6.26 ± 1.67	0.79 ± 0.21 -1.26	1.18 ± 0.32	1.06 ± 0.28	0.78 ± 0.21 -1.29
moy SM-RT	3.77 ± 1.54	0.80 ± 0.33 -1.25	0.82 ± 0.34 -1.21	0.92 ± 0.37 -1.09	0.42 ± 0.17 -2.39

Graphe 1. Expression (R) de la myostatine.



Graphe 2. Expression (R) de l'α1-antitrypsine



L'étude de l'expression des ARNm nous a permis de montrer que la quantité de protéines GST-π, TF, et A1AT-1 dans le SM était vraisemblablement régulée par des phénomènes post-transcriptionnels. Nous avons également mis en évidence la sous-expression de la myostatine dans le SM des individus TT. Ce qui est en accord avec la mutation sur le gène de la myostatine décrite par Clop *et al.* (2006) et qui correspond bien aux mutations bovines amenant au phénotype Double-Muscled. Des analyses de l'expression de ces gènes à différents stades fœtaux sont en cours pour suivre leurs expressions au cours du développement du muscle. Nos premiers résultats confirment une sous-expression de la myostatine chez les fœtus TT par rapport aux RR. De plus, l'expression des ARNm au stade fœtal est très différente de l'expression au stade adulte. Ainsi A1AT, la myostatine et la transferrine sont bien plus exprimées chez le fœtus ce qui laisse supposer un rôle majeur pour ces protéines dans le développement musculaire. Toutefois ces analyses doivent être étendues à un plus grand nombre d'individus.

Référence :

Marcq, F., C. Larzul, V. Marot, J. Bouix, F. Eychenne, E. Laville, B. Bibé, P. Leroy, M. Georges & J.M. Elsen. (2002). In: *Proc. 7th World Cong. On Gen. Appl. Livest.* Montpellier, France. pp 323-326

Clop, A.; Marcq, F.; Takeda, H.; Pirottin, D.; Tordoir, X.; Bibe, B.; Bouix, J.; Caiment, F.; Elsen, J. M.; Eychenne, F.; Larzul, C.; Laville, E.; Meish, F.; Milenkovic, D.; Tobin, J.; Charlier, C., and Georges, M. A. (2006). Nat Genet.

Hamelin M., Sayd T., Chambon C., Bouix J., Bibé B., Clop A., Georges M., Milenkovic D., Levéziel H., Marinova P., Laville E. (2005a). *52th ICoMST*, Baltimore.

Hamelin M., Sayd T., Chambon C., Bouix J., Bibé B., Clop A., Georges M., Milenkovic D., Levéziel H., Laville E. (2005b). *Rencontres Recherches Ruminants*, Paris.

Cleveland, D.W., M.A. Lopata, P. Sherline & M.W. Kirschner. (1981). *Cell*. **25**(2), 537-546.

Caron, J.M., A.L. Jones & M.W. Kirschner. (1985). *J Cell Biol*. **101**, 1763-1772.

QUALITES DES CARCASSES ET DES VIANDES DE JEUNES BOVINS CHAROLAIS HETEROZYGOTES POUR LA MUTATION Q204X DE LA MYOSTATINE

RENAND G.[1], LEVEZIEL H.[2], PAYET N.[2], HOCQUETTE J.F.[3], LEPETIT J.[4], DENOYELLE C.[5], DODELIN V.[6], MALAFOSSE A.[7]

[1] INRA Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy en Josas Cedex, France; [2] INRA/Université de Limoges, Unité de Génétique Moléculaire Animale, Faculté des Sciences et Techniques, 87060 Limoges, France, [3] INRA Unité de Recherches sur les Herbivores, 63122 Saint Genès Champanelle, France; [4] INRA Unité Qualité des Produits Animaux, 63122 Saint Genès Champanelle, France; [5] Institut de l'Elevage, Laboratoire d'Analyses et Technologies des Viandes, Villers Bocage, 14310, France; [6] Institut de l'Elevage, Service Sélection, 75975 Paris Cedex 12, France; [7] UNCEIA, 75975 Paris Cedex 12, France; [7].

Introduction

Il est désormais bien connu que le développement musculaire important des animaux culards a pour origine la présence de deux copies mutées du gène de la myostatine et qu'il existe aussi plusieurs sites de mutation dans ce gène (Grobet et al., 1998). Diverses expériences de croisement entre reproducteurs culards et normaux ont montré que ce gène se comporte pratiquement comme un gène récessif pour ce qui est des performances en vif puisqu'il est difficile de distinguer l'apparence des animaux issus de ce croisement des animaux normaux (Ménissier, 1982). De ce fait, en l'absence d'information moléculaire, il est pratiquement impossible de différencier en vif les animaux hétérozygotes, c'est-à-dire ceux qui portent une seule copie mutée, des animaux homozygotes normaux, c'est-à-dire ceux qui ne portent aucune mutation dans le gène de la myostatine. Or plusieurs études réalisées sur des populations croisées dans lesquelles les mutations C313Y et nt821 de la myostatine sont en ségrégation montrent que la présence d'une copie mutée s'accompagne d'une amélioration des performances d'abattage (Short et al., 2002 ; Casas et al., 2004). La disponibilité de tests génétiques pour détecter les différentes mutations du gène de la myostatine (Miranda et al., 2002) permet maintenant de repérer ces animaux hétérozygotes et pourrait permettre de valoriser leur supériorité génétique pour les performances d'abattage si celle-ci est confirmée. L'objet du présent travail est donc d'estimer la fréquence en race Charolaise de la mutation Q204x dans le gène de la myostatine, mutation spécifique de cette race, et surtout d'estimer l'effet de la présence d'une copie de cette mutation chez les animaux hétérozygotes sur les performances d'abattage, les caractéristiques musculaires et les qualités de la viande .

Matériel et Méthodes

Pour mener à bien cette estimation, nous avons profité de l'existence de programmes de testage sur descendance en races à viande spécialisées et de la mise en place du projet Qualvigène, financé par le réseau AGENAE, l'OFIVAL et le FNE, projet qui a pour but la détection et la validation de marqueurs génétiques des qualités de la viande. L'étude porte sur 408 jeunes bovins issus de 22 taureaux Charolais et abattus en 2004. Ils furent procréés dans des élevages de race charolaise, puis rassemblés dans deux ateliers d'engraissement où ils furent engraissés avec de l'ensilage de maïs jusqu'à leur abattage dans deux abattoirs lorsqu'ils atteignirent 728 kg de poids vif en moyenne.
En sus des performances habituellement enregistrées lors de l'abattage (rendement et pointage de la conformation des carcasses), les qualités de la viande ont été mesurées ainsi que des caractéristiques musculaires associées. Un train de 4 côtes (6ème à 9ème) fut prélevé 24 heures après l'abattage. La surface du muscle *Longissimus thoracis* (LT) fut mesurée au niveau de la 6ème côte et sa couleur fut mesurée à l'aide d'un chromamètre. La dissection de la 6ème côte a permis de mesurer le rapport gras/(muscle +gras). Des steaks tranchés dans le LT furent mis à mâturer pendant 14 jours avant d'être congelés en attendant les mesures des qualités de la viande. Les qualités organoleptiques (Tendreté, Jutosité et Flaveur) furent évaluées par un jury de 12 dégustateurs entraînés. La texture fut évaluée à travers la mesure de la force de cisaillement en utilisant une cellule de Warner-Bratzler. Pour ces mesures qualitatives, les steaks décongelés furent cuits sur un grill jusqu'à atteindre une température de 55°C à cœur. Trois caractéristiques musculaires associées aux qualités de la viande furent également mesurées sur des échantillons de LT prélevés 24 h *post mortem* : les teneurs en collagène et en lipides intramusculaires et la surface moyenne de la section des fibres musculaires.
Un prélèvement sanguin fut effectué sur tous les veaux et leurs pères et la majorité des mères (n=326). L'ADN fut extrait et utilisé pour génotyper les animaux pour la mutation Q204x de la myostatine (TaqMan 5' nuclease assay, 7900 HT Applied Biosytems). Deux génotypes furent décelés : les homozygotes normaux (+/+) et les hétérozygotes porteurs d'une copie de la mutation (+/mh). En fonction des génotypes observés chez les pères et les mères, il a été possible de déterminer l'origine paternelle ou maternelle des allèles (copies) présents chez les descendants, sauf dans le cas où les trois étaient hétérozygotes.
Le modèle utilisé pour analyser les différences entre porteurs et non porteurs inclut les effets de la station d'engraissement (ou abattoir) et les effets aléatoires du père des veaux. Le dispositif expérimental a permis d'estimer cette différence intra familles de pères, tout comme entre descendants porteurs et non porteurs indépendamment de l'origine des allèles.

Résultats et Discussion

Parmi les 22 pères, 32% (n=7) sont hétérozygotes pour la mutation Q204x alors que la proportion est deux fois moindre chez les mères (soit 16%, c'est-à-dire 52 sur 326 mères génotypées) qui représentent un échantillon plus représentatif de la population Charolaise en France. Quatre vingt six veaux sont hétérozygotes : 40 ayant hérité l'allèle muté de leur père et 22 de leur mère et pour 24 d'entre eux il ne fut pas possible de déterminer l'origine de l'allèle muté. La supériorité de conformation de la carcasse des 86 veaux porteurs de l'allèle muté sur les 322 non porteurs s'élève à +1,07 écart-type, c'est-à-dire exactement la même valeur que donne l'estimation de l'effet de substitution intra père : +1,05 écart type. Ces résultats montrent que l'estimation de l'effet de substitution est indépendante de la structure familiale comme il se doit pour un marqueur correspondant à une mutation causale.
Pour tous les caractères mesurés, l'effet de substitution a été estimé sur l'ensemble des veaux indépendamment de l'origine de l'allèle muté. Les résultats sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

Caractères		moyenne	± é.t.°	a =+/mh - +/+	a / é.t.	Prob[diff]
Conformation Carcasse	/16	10.0	1.7	1.9	1.07	<0.001
Rendement	%	57.7	1.9	1.9	0.98	<0.001
Surface LT	cm²	51.8	8.3	5.5	0.66	<0.001
Gras / (Gras +Muscle)	%	20.6	3.9	-3.0	-0.77	<0.001
Teneur en Lipides	%	1.62	0.96	-0.45	-0.46	0.001
Teneur en Collagène	%	0.38	0.07	-0.03	-0.40	0.005
Surface des fibres	µ²	2824	678	-274	-0.40	0.003
L*	/100	35.8	4.7	2.1	0.43	0.001
Force de Cisaillement	kg	3.91	0.79	0.04	0.05	0.69
Tendreté	/100	62.2	8.6	2.2	0.26	0.06
Jutosité	/100	60.1	6.3	0.3	0.05	0.74
Flaveur	/100	55.1	5.4	-0.5	-0.08	0.54

Les effets de la présence d'un allèle muté sont très hautement significatifs sur les qualités des carcasses : meilleur rendement à l'abattage, meilleure conformation et moins de gras (essentiellement intermusculaire dans la 6ème côte). Ces effets sont du même ordre de grandeur que ceux des mutations C313Y dans la race Piémontaise et nt821 dans la race Blanc Bleu Belge (Short et al., 2002 ; Casas et al., 2004). Les effets sur les caractéristiques musculaires et la couleur sont également nettement marqués : moindres teneurs en lipides intramusculaires et en collagène, fibres musculaires plus fines et viande plus claire. Malgré ces effets significatifs sur les caractéristiques musculaires, il n'y a pas d'effet sur les qualités de la viande si ce n'est une tendance à donner une viande plus tendre. Des estimations plus précises seront obtenues à l'achèvement du projet Qualvigène quand les échantillons de 1130 veaux Charolais auront été analysés.

Conclusion

Le présent travail montre que les jeunes bovins de boucherie Charolais porteurs d'une copie mutée du gène de la myostatine ont des performances d'abattage significativement supérieures aux non porteurs alors que rien ne les distingue en vif. Ce cas illustre ce que pourrait apporter la connaissance du génotype des animaux de boucherie pour ce gène particulier. Il illustre également tout l'enjeu de l'utilisation des tests génétiques qui permettraient de détecter les animaux ayant un potentiel génétique supérieur pour les qualités des carcasses ou de la viande. Au niveau technique, il faut pour cela disposer de marqueurs dans les gènes concernés et très proches des mutations causales. L'intérêt de ces tests génétiques dépend toutefois de la mise en place de systèmes de production et de commercialisation qui valorisent effectivement cette supériorité dans l'intérêt de l'aval, des abatteurs aux consommateurs, comme des éleveurs.

Références bibliographiques

Casas E., Bennett G.L., Smith T.P.L., Cundiff L.V., 2004. J. Anim. Sci., 82, 2913-2918.
Grobet L., Poncelet D., Royo L.J., Brouwers B., Pirottin D., Michaux C., Ménissier F., Zanotti M., Dunner S., Georges M., 1998. Mamm. Genome, 9, 210-213.
Ménissier F. 1982. Current Topics in Veterinary Medecine and Anim. Sci., 16, 23-53.
Miranda M.E., Amigues Y., Boscher M.Y., Ménissier F., Cortés O., Dunner S., 2002. J. Anim. Breed. and Genet., 119, 361-366.
Short R.E., MacNeil M.D., Grosz M.D., Gerrard D.E., Grings E.E., 2002. Pleiotropic effects in Hereford, Limousin and Piedmontese F2 crossbred calves of genes controlling muscularity including the Piedmontee myostatin allele. J. Anim. Sci., 80, 1-11.

Remerciements

Ce travail n'a pu être réalisé qu'avec l'appui financier de AGENAE, de l'OFIVAL et du FNE.

SESSION 3

Génomique et qualités des viandes

Animateurs : Michel Duclos (Inra-Tours)
et Gilles Renand (Inra-Jouy en Josas)

Posters

PROPRIETES CONTRACTILES ET METABOLIQUES DU MUSCLE LONG DORSAL DE 15 RACES BOVINES EUROPENNES

HOCQUETTE J.F.[1], JURIE C.[1], PICARD B.[1], ALBERTI P.[3], CHRISTENSEN M.[4], FAILLA S.[5], GIGLI S.[5], LEVEZIEL H.[2], SAÑUDO C.[6], ERTBJERG P.[4], NUTE, G.R.[7], et WILLIAMS J.L.[8]

[1] INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France, [2] INRA-Université de Limoges, Unité de Génétique Moléculaire Animale, UMR1061, 123, Avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES, [3] Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria. Zaragoza. 50080. Gobierno de Aragón. Spain, [4] Department of Food Science. Royal Veterinary and Agricultural University. DK-1958 Frederiksberg C. Denmark, [5] Istituto Sperimentale di Zootecnia. Monterotondo. 00016. Italy, [6] Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. 50013. Universidad de Zaragoza. Spain, [7] Division of Farm Animal Science. BS40 5DU. University of Bristol. United Kingdom, [8] Roslin Institute (Edinburgh). EH25 9 PS, United Kingdom.

Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet européen GemQual (**Ge**netics of **M**eat **Qual**ity) qui regroupe 9 partenaires issus de 5 pays (Royaume-Uni, Danemark, Espagne, Italie et France). Son objectif est l'identification des gènes contrôlant la variabilité des caractéristiques de la qualité des viandes bovines. Le dispositif expérimental permet par ailleurs de comparer les performances zootechniques (Alberti et al., 2006) des différentes races bovines européennes étudiées ainsi que la qualité sensorielle de leur viande (Olleta et al., 2006). Cette communication s'attache à décrire plus précisément les caractéristiques contractiles et métaboliques des fibres musculaires des 15 races bovines étudiées.

Matériel et Méthodes

Cette étude a porté sur 435 taurillons issus de 15 races italiennes (Piemontese, Marchigiana), françaises (Charolais, Limousin), espagnoles (Asturiana de los Valles, Casina, Avileña Negra Ibérica, Pirenaica) ou britanniques (Jersey, South Devon, Highland, Aberdeen Angus) et de 3 races conduites au Danemark (Holstein, Red Cattle, Simmental). Les taurillons ont eu une période de finition d'au moins 4 mois sur un régime riche en céréales (environ 80 % d'orge) et distribué à volonté. Ils ont été abattus à l'âge de 15 mois en moyenne à un poids correspondant à 90 % du poids adulte de la femelle de la race (soit environ 70% du poids adulte du mâle entier). A l'abattage, des prélèvements du muscle *Longissimus thoracis* (LT) ont été réalisés en vue (i) de la mesure d'activités enzymatiques représentatives du métabolisme glycolytique (lactate déshydrogénase [LDH]) ou oxydatif (isocitrate déshydrogénase [ICDH], citrate synthase [CS] et cytochrome-*c* oxydase [COX]), (ii) de la détermination par électrophorèse de la proportion des différentes isoformes des chaînes lourdes de myosine (MyHC) de type lent oxydatif (I), rapide glycolytique (IIx) et rapide oxydo-glycolytique (IIa) et (ii) de la teneur du muscle en protéines.

Résultats et Discussion

Les taurillons à l'abattage présentaient un poids final variant de 378 kg (Jersey) à 634 kg (Charolais). Les données zootechniques (GMQ, mensurations) ont été décrites par Alberti et al. (2006). Concernant les caractéristiques du muscle LT étudié, les différences entre races sont très significatives ($P < 0{,}001$) pour toutes les variables mesurées (Tableau 1).

Tableau 1 : Activités enzymatiques (µmole/min par g de muscle) et proportions des différentes MyHC du muscle LT (%)

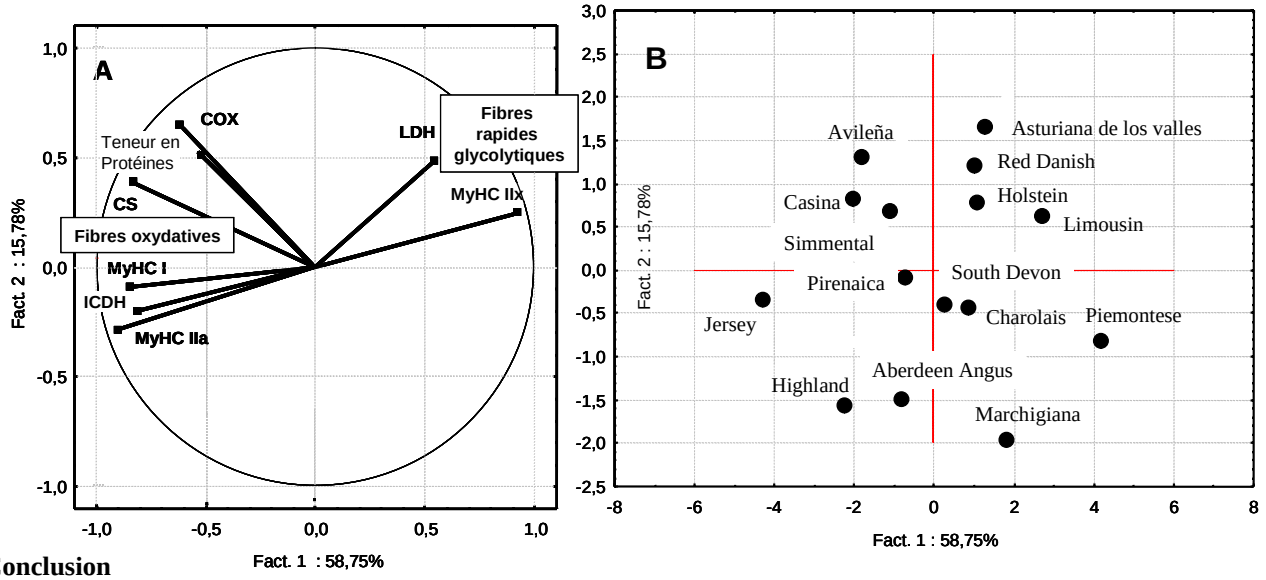
Race	LDH		ICDH		CS		COX		MyHC IIx		MyHC IIa		MyHC I	
Jersey	863	CD	2.29	A	8.40	A	16.67	C	14.7	F	64.2	A	21.1	AB
South Devon	917	BCD	1.34	CDEF	6.97	BC	9.34	GH	32.3	DE	52.5	BC	15.2	EFG
Aberdeen Angus	896	CD	1.70	B	6.48	CDE	10.73	FG	23.9	E	58.5	AB	17.6	CDE
Highland	890	CD	1.52	BCDE	6.91	BC	11.95	EFG	13.5	F	64.0	A	22.5	A
Holstein	979	B	1.30	DEF	6.62	CD	13.20	DEF	42.9	BC	40.1	DE	17.0	CDEF
Red Danish	1065	A	1.32	CDEF	6.56	CD	14.09	CDE	39.0	CD	43.0	CDE	18.1	CDE
Simmental	923	BCD	1.25	EF	7.69	AB	15.03	CD	29.3	DE	50.7	BC	20.1	ABC
Asturiana de los Valles	974	B	1.29	DEF	7.30	BC	14.78	CDE	48.3	B	37.1	DE	14.6	FG
Casina	885	CD	1.62	BC	8.40	A	19.83	B	29.5	DE	51.6	BC	18.9	BCD
Avileña Negra Ibérica	885	CD	1.55	BCDE	8.48	A	21.89	A	32.2	DE	49.6	C	18.0	CDE
Pirenaica	847	D	1.58	BCD	7.02	BC	12.51	DEF	36.4	CD	45.9	CD	17.7	CDE
Piemontese	977	B	1.20	F	5.64	E	7.23	H	58.5	A	28.1	F	13.5	G
Marchigiana	864	CD	1.38	CDEF	6.34	CDE	8.16	H	44.5	BC	39.6	DE	15.9	DEFG
Limousine	948	BC	0.93	G	5.80	DE	11.79	EFG	50.5	B	35.2	E	14.3	FG
Charolaise	880	CD	1.13	FG	6.63	CD	14.65	CDE	36.5	CD	49.1	CD	14.4	FG
S.D.	116		0.49		1.50		5.50		17.3		15.6		4.6	

A, B, C, D, E, F, G, H, Moyennes différentes à $P < 0{,}05$ (test SNK)

Sur la base des enzymes oxydatives COX et CS, les deux races rustiques espagnoles (Casina et Avileña) ont les muscles les plus oxydatifs. Sur la base de l'ICDH, autre enzyme oxydative, c'est la race Jersey (race de petite taille) qui présente

les muscles les plus oxydatifs. Les proportions les plus élevées de fibres musculaires oxydatives (MyHC de types I et IIa) sont les plus élevées pour la race Highland (race avec beaucoup de dépôts adipeux) et les proportions les plus faibles de fibres rapides-glycolytiques (type IIx) sont observées pour les races Highland et Jersey, suivie par la race Aberdeen Angus (qui possède aussi une forte proportion de tissu adipeux dans la carcasse).
Sur la base de la LDH, les muscles les plus glycolytiques sont pour la race Red Danish, suivie des races Holstein, Asturianas de los Valles et Piemontese. De plus, les muscles de la race Piemontese (race maigre) présentent la proportion de MyHC IIx la plus élevée et les activités des enzymes (CS, COX) les plus faibles.
La teneur en protéines des muscles n'était pas différente entre les races. Ainsi, les différences entre races sont similaires lorsque les activités enzymatiques par g de tissu frais sont exprimées par mg de protéines.
Pour décrire les relations entre les variables et les races, une analyse en composante principale a été réalisée avec les huit variables étudiées sur les 435 animaux permettant ensuite de regrouper les animaux selon les races (non représentée). Une seconde analyse en composante principale a été réalisée avec les 8 variables et les valeurs moyennes pour chaque race considérée comme un individu (Figure 1). Quelle que soit l'analyse, on observe que l'axe 1 sépare les races en fonction du type de MyHC (oxydative [I+IIa] *vs* rapide-glycolytique [IIx]) et des activités des déshydrogénases (ICDH *vs* LDH). Les races à viande se retrouvent sur cet axe avec les races les plus maigres (Piemontese, Marchigiana, Pirenaica, Limousin, Charolais, South Devon) séparées des races les plus grasses (Aberdeen Angus, Highland). L'axe 2 sépare les races en fonction des activités CS et COX. Les races rustiques locales (Casina et Avileña), laitières (Jersey, Red Danish, Holstein) ou mixtes (Simmental) ont tendance à avoir des activités CS et COX plutôt élevées. De plus, les races qui ont la même origine géographique se retrouvent avec des caractéristiques musculaires proches : c'est le cas des 4 races britanniques (Jersey, South Devon, Highland, Aberdeen Angus) dont les muscles sont oxydatifs et riches en MyHC I et IIa, c'est aussi le cas des 3 races danoises (Holstein, Red Danish, Simmental) qui ont une activité LDH élevée sans que l'activité COX soit faible alors que les deux races italiennes ont l'activité COX la plus faible (Piemontese, Marchigiana) et les deux races françaises (Charolais, Limousin) l'activité ICDH la plus faible.

Figure 1. Analyse en composantes principales des moyennes des caractéristiques contractiles et métaboliques du muscle *Longissimus* pour les 15 races bovines étudiées. A. Projection des variables analysées. B. Projections des individus dans l'espace défini par les variables (chaque race étant considérée comme un seul individu).



Conclusion

L'étude des caractéristiques métaboliques et contractiles du muscle LT de taurillons met en évidence des différences importantes entre races et permet de distinguer les 15 races bovines européennes étudiées en combinant les différentes mesures. Ces différences peuvent être interprétées en fonction du type de race (rustique, à viande, laitière ou mixte), de leur état d'engraissement ou de leur origine géographique. Les races rustiques, laitières ou grasses ont tendance à avoir des muscles plus oxydatifs. Les races espagnoles ou britanniques ont également tendance à avoir des muscles oxydatifs au contraire des races italiennes (plus maigres), les races françaises étant intermédiaires.

Références bibliographiques

Albertí P., Panea B., Ripoll G., Sañudo C., Olleta J.L., Christensen M., Ertbjerg P., Failla S., Gigli S., Hocquette J.F., Rudel S., Renand G., Nute G.R., Richardson I. & Williams J.L. 2006. Livestock Science, submitted

Olleta J.L., Sañudo C., Monsón F., Campo M.M., Panea B., Albertí P., Christensen M., Ertbjerg P., Failla S., Gigli S., Hocquette J.F., Hughes S.I., Williams J.L. & Nute G.R. 2006. "Les Productions de l'Elevage Méditerranéen: Défis et a Atouts" Zaragoza, 18-20/05.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'un financement de la Communauté Européenne (QLK5-CT-2000-00147). Les auteurs remercient l'ensemble du personnel des installations expérimentales, des abattoirs et des laboratoires qui ont participé à ce projet dans les différents pays européens concernés.

MARQUEURS DE TENDRETE DE LA VIANDE DE TAURILLONS BLONDE D'AQUITAINE REVELES PAR L'ANALYSE DU PROTEOME

PICARD B. [1], CHAMBON C. [2], MEUNIER B. [1], JACOB H. [3], JURIE C. [1]

[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Equipe C2M ; [2]Plate-forme Protéome du Centre INRA de Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle ; [3]MIDATEST, Les Nauzes, 81 580 Soual

Introduction

La race Blonde d'Aquitaine (BA) troisième race à viande française, est en pleine expansion en France hors de son bassin d'origine et à l'étranger (149 800 vaches en 1970 et 483 500 en 2000, sources RGA). Les bouchers l'apprécient pour son pourcentage de viande nette (75% en moyenne) et sa proportion de viande à griller (60%). Elle est réputée pour sa tendreté élevée ce qui en fait un modèle d'étude intéressant pour approfondir l'analyse des relations entre caractéristiques musculaires et tendreté de la viande. De plus, son fort potentiel de croissance musculaire semble avoir une origine différente de celle d'autres races comme la Blanc Bleu Belge (Grobet et al. 1997) et jusqu'à présent cette origine n'a pas été clairement identifiée. Toutefois, les caractéristiques musculaires associées à l'hypertrophie musculaire sont similaires à celles des bovins culards (Listrat et al., 2001). Ces différents points en font un modèle scientifique de très grand intérêt, en particulier pour mieux comprendre les éléments qui fondent son intérêt pour la filière, et pour identifier des marqueurs influençant la qualité de la viande en particulier la tendreté. C'est dans cet objectif qu'a été développée l'analyse protéomique de deux muscles de taurillons Blonde d'Aquitaine.

Matériel et méthodes

Les animaux utilisés pour cette étude sont des taurillons (chacun de pères différents) engraissés dans le cadre du Testage Jeunes Bovins à la Station de Denguin (MIDATEST). Ils ont tous été conduits dans des conditions identiques à partir de l'âge de 162 jours jusqu'à l'abattage à 449 jours en moyenne. Ils ont reçu une ration à base d'ensilage de maïs plante entière, ration enrichie par l'apport de maïs grain humide en finition. A l'âge de 15 mois, soit 628 kg en moyenne, un groupe de 11 animaux a été transporté et abattu à l'abattoir expérimental de l'INRA de Theix (agréé CEE).
A l'abattage deux muscles ont été prélevés : le Long dorsal (*Longissimus thoracis* : LT, entrecôte, muscle tendre, utilisé comme référence) (au niveau de la sixième côte), et le Semitendineux (*Semitendinosus* : ST, rond de gîte, muscle à griller mais de tendreté inférieure au LT). Des échantillons de muscles ont été prélevés dans l'heure suivant l'abattage et congelés progressivement dans l'isopentane puis l'azote liquide pour les mesures histologiques et directement dans l'azote liquide pour les analyses biochimiques (métabolismes, enzymes protéolytiques, protéome). Ces échantillons ont été stockés dans un congélateur à –80°C jusqu'à leur analyse. D'autres échantillons de muscles ont été prélevés 24 heures après l'abattage et conservés sous vide pour les mesures de collagène et de lipides ainsi que pour les mesures mécaniques et d'analyse sensorielle.
A partir des notes de tendreté attribuées par le jury de dégustation, deux lots de tendreté supérieure (T+) et inférieure (T-) ont été constitués pour chacun des deux muscles LT et ST. Les protéines des muscles des deux lots ont été extraites puis analysées par électrophorèse bidimensionnelle selon le protocole mis au point par Bouley et al. (2004). Les protéines sont séparées dans une première dimension en fonction de leur point isoélectrique (pI) en gradient de pH 4-7, puis selon leur poids moléculaire par SDS-PAGE (à 11% d'acrylamide). Les gels sont ensuite colorés au bleu colloïdal puis analysés par le logiciel d'analyse d'images (ImageMaster, Amersham). Les spots d'intérêt sont découpés puis les protéines digérées et analysées par spectrométrie de masse (Bouley et al., 2004). Une analyse statistique selon le protocole de Meunier et al., (2005), a permis de révéler les protéines différant significativement entre les deux lots pour chacun des muscles

Résultats - Discussion

Dans le muscle ST, 26 protéines sur 216 révélées, apparaissent différentes entre les deux lots de tendreté. Parmi les plus significativement différentes, nous pouvons citer des isoformes de chaînes légères de myosine lentes (MLC1slow) et de Troponine T lente, ainsi que la cytochrome C oxydase (COX, enzyme impliquée dans le métabolisme oxydatif). Ces protéines sont sur-exprimées dans le lot de tendreté supérieure. Au contraire, la parvalbumine alpha, protéine impliquée dans le cycle du calcium, et exprimée préférentiellement dans les fibres rapides, est sous-exprimée dans le lot T+ (Figure 1). Ainsi, les muscles ST du lot de tendreté supérieure, sont de type plus lent oxydatif que ceux du lot T-. Deux autres protéines dites « chaperonnes » impliquées dans le stress cellulaire, la Heat shock protein (HSP) 27 et l'alpha cristalline B, sont sur-exprimées dans le lot de tendreté supérieure.

Dans le muscle LT, 17 protéines sur 450, sont différentes entre les deux lots de tendreté. Parmi les protéines sur-exprimées dans le lot T+, nous retrouvons la MLC1s comme dans le ST, mais en plus la HSP 70. Contrairement à ce qui est observé dans le muscle ST, la HSP 27 et l'alpha cristalline B sont sous-exprimées dans les muscles LT de tendreté supérieure. La phophoglucomutase (enzyme du métabolisme glycolytique) et la chaîne légère de myosine rapide (MLC1 fast) ainsi que l'alpha actine sont également sous-exprimées dans le lot T+.

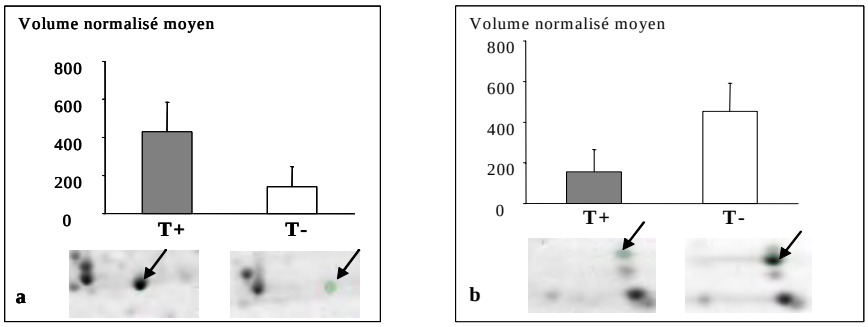


Figure 1 : Exemples de protéines différentiellement exprimées entre les lots de tendreté supérieure (T+) et inférieure (T-) dans le muscle ST de taurillons Blonde d'Aquitaine, a : Troponine T lente, b : parvalbumine alpha

Cette étude montre qu'un nombre plus élevé de protéines diffère entre les deux lots de tendreté dans le muscle ST comparativement au LT. Dans les deux cas, les muscles du lot de tendreté supérieure, sont de type plus lent oxydatif. Ainsi, au sein d'une race telle que la Blonde d'Aquitaine qui présente des muscles plus rapides glycolytiques avec une plus forte proportion de fibres IIX et plus faible proportion de fibres I, que les autres races à viande (Listrat et al., 2001), ce sont les morceaux les plus lents oxydatifs qui apparaissent les plus tendres. Ces résultats sont en accord avec une étude de corrélations faite entre les caractéristiques musculaires et la qualité sensorielle des mêmes taurillons (Picard et al., 2006) montrant une relation positive entre le pourcentage de chaîne lourde de myosine lente (MyHC I) et la tendreté initiale de la viande. Nous constatons que les deux protéines « chaperonnes », HSP27 et alpha cristalline B, dont l'expression varie en parallèle, présentent une variation d'expression opposée dans les deux lots de tendreté supérieure des deux muscles. Ces protéines, en particulier la HSP27, sont impliquées dans les mécanismes de défense cellulaire et dans le maintien de la structure myofibrillaire. Elles sont donc impliquées dans la phase de maturation de la viande. Des études complémentaires, sont en cours pour valider les expressions différentielles observées, par western-blot et/ou RT-PCR sur les mêmes échantillons.

Conclusion

Cette étude montre que l'analyse protéomique permet de mettre en évidence des protéines impliquées dans la tendreté de la viande. La même démarche est en cours de développement sur différentes races allaitantes afin de compléter et valider cette identification de marqueurs de la tendreté de la viande bovine et de monter d'éventuelles spécificités selon les races.

Références bibliographiques

Bouley J., Chambon C., Picard B., 2004. Proteomics. 4 (6): 1811-1824 ;
Grobet L., Martin L.J., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Menissier F., Massabanda J., Fries R., Hanset R., Georges M., 1997. Nat. Genet. 17: 71-74 ;
Listrat A., Picard B., Jailler R., Collignon H., Peccatte J.-R., Micol D., Geay Y., Dozias D., 2001. Animal Res. 50: 105-118 ;
Meunier B., Bouley J., Piec I., Bernard C., Picard B., Hocquette J.F., 2005. Use of cDNA array data analysis methods for accurate detection of differential protein expression in two-dimensional gel electrophoresis-based techniques. Anal. Biochem., 340: 226-230 ;
Picard B., Jurie C., Listrat A., Bauchart D., Lepetit J., Micol D., H. Dubroeucq,, Jailler R., Cottin P., Giraudeau L., Jacob H. 2006, Rencontres Recherches Ruminants, Décembre 2006

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier INRA/INAO. Les auteurs remercient vivement les différents étudiants : Julien Bouley, Guillaume Charles, Marie Deterne qui ont largement contribué à cette étude avec l'appui technique de Christiane Barboiron.

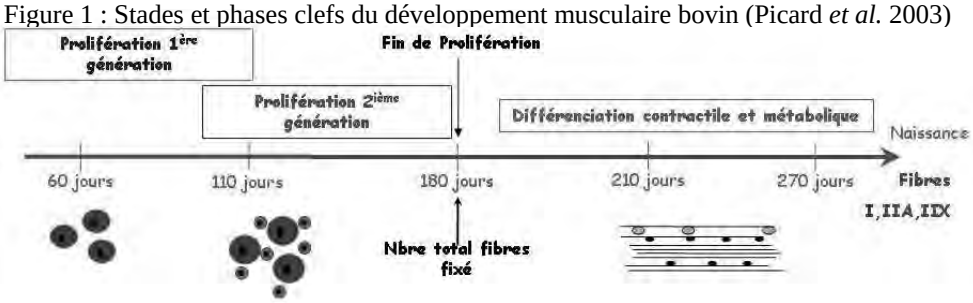
ETUDE DU DEVELOPPEMENT MUSCULAIRE BOVIN PAR ANALYSE PROTEOMIQUE

CHAZE T., PICARD B.
Unité de Recherche sur les Herbivores, équipe Croissance et Métabolisme du Muscle, INRA Clermont-Ferrand/ Theix, Theix, 63122 St Genès Champanelle, France

Introduction

La maîtrise de la qualité de la viande bovine (notamment la flaveur et la tendreté) passe, entre autre, par la compréhension des mécanismes physiologiques musculaires (ontogenèse, cinétique de mise en place des fibres…). C'est dans l'optique de l'enrichissement des connaissances sur l'ontogenèse musculaire bovine qu'est basée cette étude.
Le tissu musculaire squelettique constitue l'un des modèles de développement le mieux caractérisé. Les données d'embryogenèse recueillies en majorité *in vitro* chez la souris, ou chez le poulet, ont permis de mettre en évidence plusieurs types de régulations myogéniques complexes faisant intervenir un grand nombre de facteurs et de voies de régulation interconnectées. Chez le bovin, l'ontogenèse musculaire a été caractérisée par plusieurs phases et stades clefs du développement (Picard *et al.* 2003). Concrètement, une première génération de cellules, à l'origine des fibres de type I (lentes oxydatives), se met en place entre 60 jours et 110 jours de vie fœtale. A partir du deuxième tiers de gestation une deuxième et une troisième génération de cellules, respectivement à l'origine de fibres en majorité rapide et à métabolisme glycolytique et oxydo-glycolytique apparaissent. A partir de 180 jours, le nombre total de fibres est fixé. Le dernier tiers de la vie fœtale est marqué par une forte différenciation contractile et métabolique des fibres (figure 1).
La comparaison des protéomes, par électrophorèse bidimensionnelle (Rabilloud 2002, Bouley *et al.* 2005), d'échantillons de muscle *Semitendinosus* (ST) à ces 5 stades clefs devrait permettre de mettre en évidence les mécanismes impliqués dans les phases de prolifération et de différenciation ainsi que dans les transitions entre ces phases.

Figure 1 : Stades et phases clefs du développement musculaire bovin (Picard *et al.* 2003)



Matériel et Méthodes

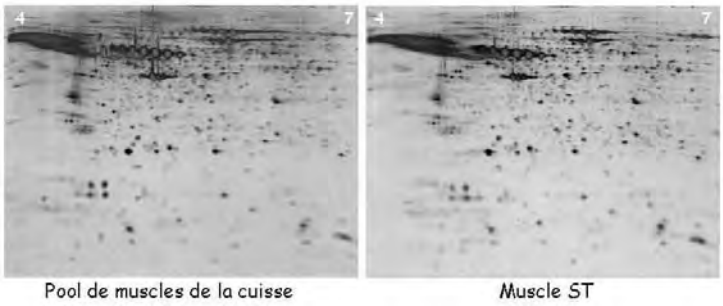
Le muscle ST a été prélevé en condition d'analyse de biologie moléculaire (rapidité de prélèvement, sans contact externe, pas de contamination avec la kératine) chez des fœtus de race Charolaise aux stades clés de développement suivants : 60, 110, 180, 210 et 260 jours post conception (n = 4 fœtus par stade).
L'extraction des protéines musculaires totales pour une analyse en électrophorèse bidimensionnelle (E2D) est réalisée en tampon urée/ thiourée/ Chaps et permet d'obtenir une concentration de 6µg.µl^{-1} (Bouley *et al.* 2004). 700µg de protéines sont séparées par E2D par un gradient de pH de 4-7 en première dimension et par un gel SDS-PAGE de 12% en deuxième dimension et colorés au bleu de Coomassie G250. 4 réplicats techniques sont réalisés pour un même animal. Avec le logiciel Image Master Platinum (GE Healthcare), l'image des gels numérisés pour chaque stade est comparée à un gel moyen représentant l'ensemble de spots protéiques de l'analyse entière.

Résultats et Discussion

Etude préliminaire à la comparaison des protéomes au cours de la myogenèse :

A 60 jours de vie fœtale, l'état de développement du muscle ST ne permet pas de collecter assez de matière pour effectuer l'analyse protéomique décrite ci-dessus avec 4 réplicats techniques colorés au bleu de Coomassie. Aussi dans le but de pouvoir comparer ce stade clef par rapport aux autres dans les mêmes conditions, nous avons choisi de prélever à l'abattage l'ensemble des muscles de la cuisse du fœtus et de les pooler.

Figure 2 : Cartes protéomiques d'un pool des muscles de la cuisse et du muscle ST isolés à 60 jours.



Une étude comparative visant à déterminer si le protéome du muscle ST est significativement différent du pool des muscles de la cuisse a été menée.

Le protéome du muscle ST et le protéome du pool des muscles de la cuisse ont été séparés par E2D (150µg) et coloré au nitrate d'argent. L'analyse d'image a permis de comparer près de 1150 spots (figure 2). Statistiquement, nous avons montré qu'il n'y a pas de différence significative entre le protéome du muscle ST et celui de l'ensemble des muscles de la cuisse. Le pool musculaire de la cuisse peut donc être inclus dans l'étude d'ontogenèse et comparé aux autres échantillons de muscles ST aux différents stades.

Etude protéomique de la myogenèse bovine :
Le protéome musculaire de 5 stades de développements (4 réplicats biologique par stade et 4 réplicats techniques par animal) a été mis en évidence par E2D et coloré au bleu de Coomassie (600 spots révélés). Une première analyse en clustering des données de protéomique générées (figure 3) montre i) une classification ordonnée des foetus selon les réplicats témoignant de la bonne reproductibilité technique et ii) une bonne distinction selon les âges. Les spots protéiques sélectionnés pour ce cluster permettent de distinguer chaque stade de développement. Ainsi les stades extrêmes 60, 110 (début de prolifération) et 260 jours pc (fin de la différenciation) sont nettement classés alors que les stades de début de différenciation, 180 et 210 jours pc, ne sont pas clairement séparés témoignant du peu d'écart entre ces deux stades (30 jours).

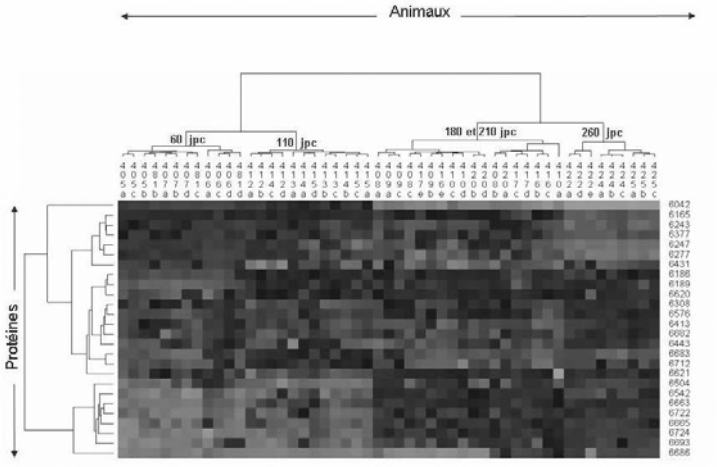


Figure 3 : Cluster des données de protéomique

Cette première analyse avait pour but de s'assurer de la qualité du jeu de données, issu des 80 gels réalisés, tant du point de vue biologique que technique, permettant d'envisager des tests statistiques adaptés à l'analyse cinétique avec un degré de confiance élevé. Une analyse approfondie des gels permettra de révéler plus de protéines différentiellement exprimées entre les stades et phases clefs. La mise en relation par ontologie des protéines différentiellement exprimées et identifiées par spectrométrie de masse devrait nous permettre de tirer des conclusions quant au développement musculaire chez le bovin.

Conclusion

Grâce à cette étude, nous serons en mesure de tirer des conclusions intéressantes sur les mécanismes de transitions entre les grandes phases du développement musculaire sur des échantillons prélevés *in vivo*. De plus, l'analyse de ces échantillons sur des gradients de pH 7-11 (Chaze *et al.* 2006) devrait permettre de cibler les protéines du métabolisme, de mieux caractériser les modifications engendrées par la différenciation métabolique et plus généralement, de compléter cette expérience en augmentant le nombre de protéines d'intérêt dans l'étude de la myogenèse. Les conclusions de l'étude protéomique de la myogenèse bovine seront comparées à celle obtenues dans l'étude du développement musculaire du porc (Lefaucheur et coll.) et du poulet (Berri et coll.) dans le cadre d'un projet de biologie comparée d'animaux d'intérêt agronomique. D'autre part, les protéines marqueurs de qualité sensorielle de la viande bovine découvertes par l'équipe pourront être suivies et des conclusions sur la mise en place des déterminants de la qualité de cette viande pourront être tirées.

Références Bibliographiques

Bouley J., Chambon Ch., Picard B., 2004. Proteomics, 4, 1811-1824;
Bouley J., Meunier B., Chambon Ch., De Smet S., Hocquette JF., Picard B., 2005. Proteomics, 5, 490-500;
Chaze T., Bouley J., Chambon Ch., Barboiron Ch., Picard B., 2006. Proteomics, 6, 2571-2575;
Picard B., Jurie C., Cassar-Malek I., Hocquette JF., 2003. INRA Prod.Anim., 16 (2), 125-131;
Rabilloud T., 2002. Proteomics, 2, 3-10;

Remerciements

à M. Bruno Meunier pour son aide en analyse d'image et en analyse des données
au personnel de l'abattoir expérimental de l'INRA de Theix (R. Jailler et son équipe de boucher.)
à Ch. Barboiron pour son aide technique
à la plate-forme de protéomique de l'INRA de Theix (Ch. Chambon).

IDENTIFICATION DES SPECIFICITES FONCTIONNELLES DES ADIPOCYTES INTRAMUSCULAIRES PAR UNE APPROCHE PROTEOMIQUE CHEZ LE PORC

GONDRET F.[1], GUITTON N.[2], LOUVEAU I.[1]

[1]INRA, UMR SENAH, 35590 Saint Gilles, [2]Plateforme protéomique Ouest-genopole®, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

Introduction

La quantité et la répartition des lipides dans les différents tissus de l'organisme sont des facteurs importants pour la qualité des carcasses et des viandes. La qualité de la carcasse chez le porc est estimée à partir de mesures automatisées d'épaisseurs de muscle et de gras sous-cutané dorsal à l'abattage (Monin et al., 1998 pour revue). Récemment, l'influence des teneurs en lipides intramusculaires et intermusculaires sur les qualités sensorielles et l'acceptabilité de la viande de porc par les consommateurs a été mise en évidence (Fernandez et al., 1999). L'appréciation de l'aspect de la viande crue ou cuite par le consommateur est ainsi d'autant plus défavorable que la teneur en lipides est élevée, le jugement de l'aspect gras étant apparemment basé essentiellement sur l'importance du tissu adipeux intermusculaire. A l'inverse, l'acceptabilité globale du produit après consommation est d'autant plus favorable que la teneur en lipides de la viande (longe) est élevée. Les mécanismes métaboliques à l'origine de la répartition des lipides entre les différents tissus de l'organisme sont cependant mal connus. Les triglycérides (ou lipides de réserve) constituent la fraction la plus variable de la teneur en lipides tissulaires. Ils sont pour l'essentiel stockés dans les adipocytes, cellules spécialisées dans le stockage et la restitution de l'énergie. Chez le porc, nous avons récemment montré que les adipocytes intramusculaires localisés le long des faisceaux de fibres musculaires présentent des capacités de synthèse des acides gras plus faibles, et des niveaux de lipolyse des triglycérides inférieurs à ceux des adipocytes isolés de tissus adipeux sous-cutanés et périrénaux (Gardan et al., 2006). Une étude approfondie des différences d'expression protéique (enzymes et transporteurs) entre adipocytes permettrait probablement de mieux comprendre la relation entre site anatomique et teneur en lipides, et ainsi de fournir de nouveaux marqueurs manipulables à terme par sélection pour orienter le dépôt de lipides dans un site particulier. L'objectif de notre étude était donc d'évaluer l'intérêt d'une approche protéomique pour caractériser les spécificités fonctionnelles des adipocytes en relation avec leur origine tissulaire.

Matériel et Méthodes

Des porcs femelles (n = 6) de race (Large White x Landrace) x Piétrain ont été abattus au poids vif moyen de 30 kg après une nuit de jeun. Des échantillons de tissus adipeux sous-cutané dorsal (SCD, lard dorsal) et périrénal (PER, panne) ont été immédiatement prélevés, ainsi que la totalité du muscle Trapèze (TRAP) et le tissu adipeux intermusculaire adjacent à ce même muscle (INT). Pour les 4 sites, les adipocytes matures ont été isolés dans un milieu Krebs-Ringer-bicarbonate contenant 3% d'albumine sérique bovine (BSA), 10 mM de glucose, et 1.3 mg/mL de collagenase A (Gardan et al., 2006). Les adipocytes isolés ont alors été lavés deux fois dans un milieu tris-saccharose. Les protéines adipocytaires ont ensuite été extraites et solubilisées dans un tampon composé d'urée 6 M, de thiourée 2M, de CHAPS 2%, et de tris 30 mM (pH 8.8). Elles ont été alors purifiées par centrifugation (30 min à 15 000 g) puis par ultracentrifugation (1 h à 100 000 g). Les lipides adipocytaires ont été éliminés par addition de chloroforme (v/v) après solubilisation des protéines. Après marquage par des cyanines (Cy) fluorescentes, les protéines adipocytaires ont été séparées par électrofocalisation (total 65000 Vh) sur un gradient de pH 3-10 NL (strips de 24 cm, cuve IPG-phor II, Amersham), puis par SDS-PAGE 12,5%. Chaque gel 2D-DIGE (pour *2 Dimensions-Fluorescence Difference Gel Electrophoresis*) était constitué de trois dépôts protéiques (50 µg chacun): un échantillon standard composé d'une part égale de chaque échantillon adipocytaire et marqué par Cy2, et deux échantillons adipocytaires (respectivement marqués par Cy3 et Cy5). A partir des images obtenues en fluorescence, l'intensité des spots protéiques a été comparée entre les différents adipocytes (logiciel DeCyder, Amersham). Seules les différences d'intensité excédant un rapport de |2| entre deux sites ont été considérées comme biologiquement significatives. L'identification des protéines d'intérêt a été obtenue par spectroscopie de masse selon la technique Maldi-Tof (Bruker Daltonics).

Résultats et discussion

Nous avons pu définir et quantifier 1058 spots sur l'ensemble des gels. Deux cents à 300 spots sont différentiellement exprimés ($P \leq 0.05$) entre adipocytes. Nous avons retenu 140 spots pour identification. Cependant, un grand nombre de ces spots d'intérêt ne sont pas encore identifié, soit par défaut de correspondance séquentielle, soit par manque de matériel biologique pour l'obtention d'une empreinte Maldi-Tof. Un tiers des spots s'est avéré correspondre à des variants de l'albumine, forme de transport sérique des acides gras. La présence de ces protéines sériques a également été rapportée dans des études protéomiques de milieux conditionnés par des adipocytes ou des cellules stroma-vasculaires

en culture (Chen et al., 2005; Hausman et al., 2006). Elle serait liée à l'exposition préalable des cellules à la BSA, malgré les rinçages effectués préalablement à l'isolement des protéines.
Parmi les protéines surexprimées dans les adipocytes TRAP comparativement aux adipocytes des autres sites anatomiques, nous avons notamment identifié une protéine de la famille Rho (régulateur cellulaire multifonctionnel) ainsi que la prohibitine. Cette dernière protéine est connue pour stabiliser les enzymes nouvellement synthétisées de la chaîne respiratoire mitochondriale (Mishra et al., 2005 pour revue). Elle a également été récemment identifiée comme un récepteur membranaire dans le tissu adipeux blanc, modulant probablement l'expression de diverses cytokines produites par l'adipocyte (interleukines) et signaux intracellulaires (MAP-kinases). Cinquante-trois protéines sont plus faiblement exprimées dans les adipocytes TRAP comparativement aux autres adipocytes. Elles appartiennent à de multiples voies métaboliques relatives à (i) la glycolyse anaérobie (fructose biphosphate aldolase, enolases), ii) la synthèse *de novo* d'acides gras (malate déshydrogénase et isocitrate déshydrogénase à NADP, enzymes cytosoliques associées à la production du cofacteur NADPH nécessaire à la synthèse de l'acide gras palmitique), iii) l'oxydation mitochondriale des acides gras (long-chain acyl CoA déshydrogenase), ou iv) la régulation de l'homéostasie redox et du stress oxydatif (electron-transfer flavoprotein alpha precursor ETFS, voltage-dependent anion channel VDAC1, catalase). Enfin, certaines protéines relatives à l'adhésion cellulaire ou à la formation du cytosquelette sont moins (vinculine, procollagène-proline oxoglutarate dioxygénase) ou plus (alpha-actine) exprimées dans les adipocytes TRAP comparativement aux autres adipocytes. La présence de protéines structurales a été déjà été rapportée dans des études protéomiques d'adipocytes en culture (Hausman et al., 2006), mais l'origine des différences observées ici entre sites anatomiques reste à déterminer.
Les différences de profil protéomique entre les adipocytes isolés des tissus adipeux SCD et PER sont moins marquées (13 protéines hors de l'albumine). Citons par exemple la vimentine (protéine du cytosquelette) qui est 2,6 fois plus exprimée ($P = 0,02$) dans les adipocytes SC comparativement aux adipocytes PER. De même, la malate déshydrogénase est deux fois plus exprimée dans les adipocytes SCD ($P < 0, 001$), en parallèle à la capacité lipogénique supérieure de adipocytes SCD comparativement aux adipocytes PER isolés de porcs au même poids d'abattage (Gardan et al., 2006). Seulement 3 et 5 protéines (hors de l'albumine) sont différentiellement représentées dans les adipocytes INTER comparativement respectivement, aux adipocytes SCD et PER. Nous avons identifié à ce jour la malate déshydrogénase qui est deux fois plus présente ($P < 0,001$) dans les adipocytes INTER que dans les adipocytes PER, alors que son niveau d'expression est similaire dans les adipocytes INTER et SCD.
Ainsi, les différences protéiques entre adipocytes isolés des tissus adipeux sous-cutanés, péri-viscéraux ou intermusculaires sont peu marquées en comparaison de celles observées lorsque l'on considère les adipocytes intramusculaires. Ceci suggère une influence importante de l'environnement (fibres musculaires pour les adipocytes TRAP vs. adipocytes pour les adipocytes SCD, PER et INTER) dans les propriétés fonctionnelles adipocytaires.

Conclusion

La caractérisation par électrophorèse bidimensionnelle des protéines exprimées dans les adipocytes en relation avec le site anatomique dont ils sont issus, est limitée par i) le processus inhérent à l'isolement des adipocytes induisant la présence de nombreux spots correspondant à l'albumine, ii) le manque de matériel biologique relativement au nombre de spots rendant difficile l'obtention d'une empreinte peptidique pour chaque spot. Malgré ces limites, nos résultats montrent que les adipocytes présents le long des faisceaux de fibres musculaires sont métaboliquement moins actifs que les adipocytes des tissus adipeux voisins du muscle (sous-cutanés et intermusculaires) ou viscéraux. Dans ce cadre, l'approche protéomique s'avère intéressante pour identifier les multiples voies réprimées dans les adipocytes intramusculaires (catabolisme anaérobie du glucose, biosynthèse des acides gras, oxydation mitochondriale des acides gras, état redox). En outre, elle permet d'identifier de nouvelles protéines plus fortement exprimées dans les adipocytes intramusculaires comparativement aux adipocytes des autres sites de dépôt.

Références

Chen, X., Cushman SW., Pannell LK., Hess S., 2005 J. Proteome Res. 4, 570-577.
Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., Gilbert S., Sirami J., Malter D., Bazin C., 1998. Journées Rech. Porcine en France, 30, 13-27.
Gardan D., Gondret F., Louveau I., 2006. Am. J. Physiol. Endocrinol. Metabol. Sous presse.
Hausman, GJ., Poulos SP., Richardson RL., Barb CR., Andacht T., Kirk HC., Mynatt RL., 2006 J. Anim. Sci., 84, 1666-1681.
Mishra S., Murphy LC., Gregoire Nyomba BL., Murphy LJ., 2005, Trends Mol. Medicine, 11, 192-197.
Monin G., Sellier P., Bonneau M., 1998. Journées Rech. Porcine en France, 30, 13-27.

Remerciements

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

SESSION 4

Hygiène et Sécurité sanitaire

Animateurs : Jean-Pierre Frencia (Adiv Association)
et Philippe Fravalo (Afssa-Ploufragan)

Conférences

LES ECOSYSTEMES MICROBIENS DANS LES PRODUITS CARNES

JEAN LABADIE
Laboratoire de Microbiologie
INRA de Clermont-Theix - 63122. St Genés Champanelle.

Introduction :

Les produits carnés, comme de nombreux produits alimentaires soumis, en ateliers, à des transformations diverses, sont le support de multiples micro-organismes qui vont se développer plus ou moins abondamment selon le type de modifications imposées et les paramètres physico-chimiques qui sont choisis pour obtenir le produit escompté. En fait, pour les microbiologistes, les ateliers de transformations constituent, tous, des milieux qui répondent très exactement à la définition de ce que les écologistes, au sens large, entendent par « écosystème » : Ainsi, un écosystème c'est l'association dynamique de deux composantes en interactions permanentes, i) Un biotope ayant une dimension spatio-temporelle bien délimitée ii) Une communauté d'organismes vivants ayant des propriétés caractéristiques. Par ailleurs, un écosystème est aussi, fondamentalement, une unité en changement permanent dont les modifications dépendent des flux d'énergie qu'elle reçoit. Il n'est donc pas besoin d'être un spécialiste de l'écologie ou de la technologie des produits carnés pour comprendre que les ateliers de transformations des viandes et les micro-organismes qui y résident, constituent de vrais écosystèmes au même titre que des milieux très différents comme une forêt, un lac, un fond marin ou un atoll corallien. Cependant et compte tenu des types de transformations que subissent les viandes et produits carnés, on peut distinguer deux ou éventuellement trois grands groupes d'écosystèmes : ceux qui influencent la qualité des produits frais, ceux qui influencent les produits de salaisons et ceux qui influencent la qualité des produits thermisés. Nous ne parlerons dans cet exposé que des deux premiers, le troisième impliquant souvent des micro-organismes non spécifiques des produits carnés.

Les écosystèmes microbiens qui influencent la durée de vie des produits carnés frais.

Avant de préciser la nature et la composition de ces écosystèmes, il convient de comprendre comment s'effectuent les contaminations microbiennes dans les premières étapes de transformations des produits carnés.
Il est généralement admis que les muscles des animaux qui vont donner la viande et produits carnés que nous consommons sont stériles, ou éventuellement faiblement contaminés, mais dans des proportions très faibles. C'est donc la transformation, au sens large, qui va amener progressivement les flores microbiennes présentes en surfaces des animaux ou dans les organes contaminés (tube digestif principalement) des animaux vers la surface voire le cœur des produits carnés. Ces flores microbiennes sont elles mêmes issues d'écosystèmes très divers, eaux, sols, végétaux, tube digestif, peau, etc.. Si l'on tient compte de l'énorme richesse microbienne que cela représente en terme de quantité ou de biodiversité, on pourrait croire que les viandes et produits carnés sont extrêmement pollués et forcément dangereux à consommer. En fait, il n'en est heureusement le plus souvent rien, notamment parce que les opérations et paramètres mis en place dés le début des transformations visent à éliminer le plus possible la microflore contaminante, mais aussi à sélectionner et à orienter les flores résiduelles vers celles qui seront les plus longues à entraîner des altérations perceptibles dans les produits. Les micro-organismes qui résistent aux traitements choisis constituent presque toujours, ce que les anglo-saxons appellent des « Specific Spoilage Organisms », Bjorkroth *et al* (1998), ou en français des micro-organismes d'altération spécifiques (MAS). La figure 1, montre ce qui passe en général à l'intérieur d'un emballage d'un produit alimentaire quelconque au cours de la conservation au froid et quel que soit son mode de conservation.

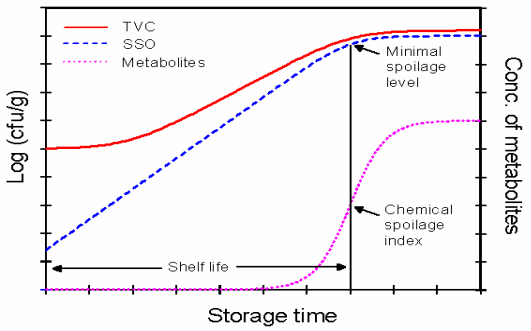


Fig 1 : Evolution de la microflore d'altération au cours de la conservation d'un produit alimentaire
TVC : bactéries dénombrées (flore dominante). SSO : micro-organismes d'altération spécifique. Shelf life : Durée de vie.
D'après Dalgaard (1995)

Les différents obstacles au développement des microorganismes lors des transformations des produits alimentaires ont été intégrés, par Leistner dés les années 80, dans un concept dit « concept des barrières » (« hurdle concept » en anglais) qui traduit le fait que plus on avance dans le circuit de transformation d'un produit alimentaire et notamment d'un produit carné, plus les obstacles mis pour éviter la présence ou la croissance des micro-organismes sont nombreux. La figure 2 résume le principe de ce concept. Le schéma présenté, bien que simple et trivial, montre incidemment que les variations individuelles et/ou par groupe, des valeurs de ces paramètres peut créer, parfois en grand nombre, dans les locaux ou dans les produits transformés, des sous écosystèmes, ou la spécificité des flores qui se développent peut être encore plus accentuée. Dans ces cas précis ce sont des souches, des variants, d'espèces spécifiques bien connues des produits carnés qui vont se développer dans les microflores dominantes (et dont la spécificité par rapport à la sous niche créée est souvent ignorée).

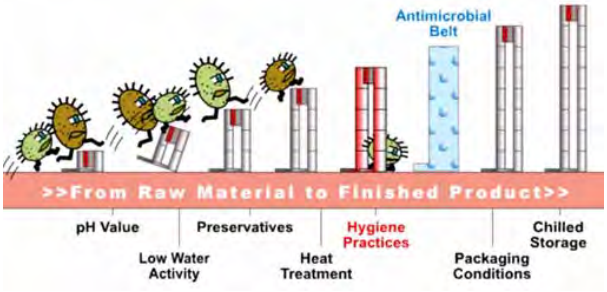


Figure 2: les barrières antimicrobiennes utilisées pour inhiber ou détruire les bactéries d'altération dans les produits alimentaires. Leistner (1992)

Les produits carnés frais, sont très nombreux et leur inventaire serait très long à faire. On peut néanmoins les séparer en deux grandes catégories, ceux qui sont conservés *à l'air et au froid* et ceux qui sont conservés *au froid et sous atmosphères modifiées* (y compris le sous vide).
Dans la première catégorie, si le froid appliqué peut varier en intensité, l'air au contact des produits est celui de l'atmosphère que nous respirons, dont la composition reste constante. Dans la deuxième catégorie une infinité de combinaisons peuvent être créées avec de nombreux gaz, dont du CO2, plus ou moins concentré, plus ou moins sous pression ; ce qui est valable pour le CO2, l'est également pour les autres gaz, N2, CO, oxygène, etc.. Si l'on prend en considération le fait que ces gaz peuvent être conditionnés sous des films de perméabilités très variables, selon leur nature et selon le temps, on pourrait être amené à croire que les flores sélectionnées vont être très diversifiées. En fait, il n'en est rien, même si la remarque que je formule au début de cette page au sujet de variants de souches d'espèces typiquement carnées s'adaptant à des sous écosystèmes créés par les emballages, est dans ce cas, sans doute, parfaitement valable. En fait, c'est ici que le substrat, « viande », ***en combinaison*** avec les autres paramètres, joue un rôle capital en dressant, par lui même, une barrière sélective intégrant structure, composition chimique et biochimique de la viande. C'est cette barrière sélective qui ne permet qu'à certaines flores spécifiques de se multiplier. En effet (et nous y reviendrons plus loin) la viande fraîche, en l'état, est un support solide, visco-élastique qui possède une composition particulière variant considérablement selon l'origine des viandes et les espèces considérées, mais dont certaines caractéristiques communes (fig 3) expliquent, en partie, la sélectivité. Ainsi, après la *rigor mortis*, le tissu musculaire ne contient que peu de peptides et d'acides aminés libres directement assimilables par les micro-organismes. Il est aussi pauvre en glucose, mais contient beaucoup de lactate et de Fer, et son pH est inférieur à pH 6.0. Il est et souvent proche de pH 5.4. Un telle composition chimique qui est celle d'un milieu biologique « épuisé » ou altéré, combinée à des paramètres tel que le froid, l'air et/ou des atmosphères modifiées, sélectionne une flore *typiquement carnée* que l'on retrouve toujours en proportions variables, quelque soient les combinaisons choisies.

Concentrations (mg/g) **Composés**	pre	post
Créatine phosphate	3.0	
Créatine	4.5	6.5
Adenosine triphosphate	3.0	
Inosine monophosphate	0.2	3.0
Glycogène	10.0	1.0
Glucose	0.5	0.1
Glucose 6 phosphate	1.0	0.2
Acide lactique	1.0	9.0
Acides aminés	2.0	3.5
Dipeptides (anserine, carnosine)	3.0	3.0
pH	7.2	5.5

Fig 3 : Concentrations de quelques composés solubles de faible poids moléculaire dans la viande de bœuf avant et après la *rigor mortis*. Fisher et Augustini (1977)

Produits carnés conservés à l'air et au froid

Pour tous ces produits, quelques espèces aérobies, psychrotrophes, sont la base du sous écosystème créé par les conditionnements. Le groupe des bactéries dominantes dans *tous* les produits carnés conservés à l'air, appartient au genre *Pseudomonas*. Il est intéressant de noter que la plupart des produits alimentaires conservés à l'air et au froid sont aussi contaminés par des *Pseudomonas*, qui sont à l'origine de leurs altérations. Ce constat pourrait amener à penser que les niches écologiques spécifiques, viandes, laits, poisson, ou produits végétaux, n'exercent aucune sélectivité sur ces bactéries. Il n'en est rien, car même si le genre *Pseudomonas* est connu pour occuper de très nombreuses niches écologiques aérobies, les espèces qui dominent, dans différents produits alimentaires sont souvent différentes. Dans les viandes, l'espèce *P. fragi* (et dans une moindre mesure *P. lundensis*) est celle qui domine largement la flore des viandes après quelques jours de conservations (Molin et Ternstrôm, 1982). Cette espèce longtemps regroupée de manière très grossière, au sein des *Pseudomonas* dit « non pigmentés », croît plus rapidement à basses températures (y compris jusqu'à 25°C) que les *Pseudomonas fluorescens*. Les temps de génération sont respectivement pour *P fragi* et *P fluorescens* de 7,6 et 8,2 h (Lebert, Bégot et Lebert, 1998). Cette faible différence est sans doute suffisante pour expliquer la dominance, dans les viandes, de la première espèce. Mais quelle est sa signification en terme de meilleure adéquation à la niche écologique « viandes fraîches » ? En fait, on sait depuis assez longtemps que l'absence de pigmentation traduit au plan physiologique une incapacité (Champommier *et al*, 1996) à synthétiser les sidérophores (de couleur vert fluorescent) qui sont les transporteurs du fer indispensables, entre autres, au métabolisme respiratoire. Cette carence est compensée, chez les *Pseudomonas fragi* par l'importation de ce métal, complexé à d'autres composés chimiques le contenant, et présents dans la viande, hémoglobine, aérobactine, transferine, lactoferrine (Champomier-Vergés, Stinzi, Meyer, 1996). Compte tenu de l'abondance de ces composés dans le muscle, l'économie d'énergie réalisée, sous la forme d'ATP non consommé pour synthétiser des sidérophores, est sans doute un des éléments clé (avec d'autres propriétés telles que le psychrotrophie) qui explique pourquoi, l'espèce *P. fragi* domine les viandes par rapport aux autres espèces après quelques jours de conservation à l'air. D'autres hypothèses, non démontrées à ce jour, ont été avancées pour expliquer l'avantage écologique des *Pseudomonas fragi* (Labadie, 1999) en milieu carné, en particulier la possibilité d'une synthèse de protéases uniquement induite par certains peptides, issus de la viande et au sein de vésicules membranaires, qui seraient excrétées par les bactéries pour les aider à pénétrer profondément les tissus musculaires. Un tel mécanisme a été observé au moins chez une souche de *P fragi*, Thompson *et al* (1985) et démontrée sur une espèce pathogène proche, *Pseudomonas aeruginosa*. (Kadurugamuwa et Beveridge, 1995)
Pour une autre espèce bactérienne aérobie uniquement isolée de la viande (ou du muscle de poisson), *Brochothrix thermosphacta*, il est en première analyse plus difficile d'expliquer sa présence dans la viande par un avantage écologique conféré par la viande. La recherche de sa niche écologique d'origine, a été réalisée par Talon (1984) dans différents milieux environnant les animaux de boucherie depuis leur lieu d'élevage jusqu'à l'abattoir et les salles de découpe. Bien que rien de très concluant n'ait pu être établi, il semble que les sols cultivés ou non, d'ou ont pu être isolés quelques souches de *B thermosphacta*, (mais aussi une espèces très proche, *Brochothrix campestris*) soit à l'origine de sa présence dans les viandes. *B thermosphacta* se multiplie remarquablement bien dans les viandes fraîches et il semble au regard de sa croissance à basses températures, qu'à lui seul, son caractère psychrotrophe, voire presque psychrophile (la bactérie possède un optimum de température proche de 20°C et peut croître à 0°C), soit un élément très important expliquant sa multiplication dans des produits carnés réfrigérés. Si l'on examine ses propriétés biochimiques, l'utilisation du glucose et du glutamate ont été démontrées dans les viandes (Gill et Newton, 1977) mais ne sont pas suffisantes pour expliquer pourquoi *B. thermosphacta* se développe dans les produits carnés. Une des clés, expliquant la préférence carnée de *B. thermosphacta*, vient peut être de la mise en évidence (Gardner, 1982), de peptidases uniquement produites par cette bactérie au contact de jus de viande, ou encore, de l'existence d'une glycérol ester-hydrolase active dans la viande, (Gardner, 1982). Malheureusement, cette bactérie n'a fait l'objet d'aucun travail fondamental en physiologie et notamment à basses températures, aussi, il est difficile d'aller au delà de simples hypothèses. On peut donc supposer que la viande permet à cette bactérie d'exprimer certaines potentialités spécifiques, mais également que sa composition particulière *post rigor*, favoriserait *B. thermosphacta*, en lui permettant d'utiliser, ***à basses températures***, et mieux que d'autres bactéries, différents produits terminaux du métabolisme musculaires et/ ou lipidiques.

Produits conservés, sous vide ou en atmosphères modifiées

La conservation sous vide ou en atmosphères modifiées, combinées à la réfrigération, exerce une très grande pression de sélection sur la flore microbienne. Les viandes conservées sous vide, et particulièrement les viandes bovines, sont très stables au froid en raison de l'absence d'oxygène qui ne permet en général que la survie et la croissance d'une flore lactique pouvant atteindre 10^{7} voire 10^{8}/g ou cm2 de produit. D'autres bactéries sont capables de se développer, mais en général, leur croissance est faible. De ce fait, et en raison de l'impact organoleptiques limité des flores lactiques, les viandes sous vide se conservent en général sans problème pendant 3 à 4 semaines à 0°C (Dainty et Mackey, 1992). Hormis, les atmosphères modifiées contenant du CO_2 pur ou sous pression avec absorbeur d'oxygène, qui permettent au minimum des conservations de 28 jours à +2°C (Renerre, 1986), les atmosphères modifiées contenant deux (CO2, O2) ou trois gazs (CO2, O2, N2), ne permettent que des conservations plus limitées dans le temps. Par exemple, un mélange contenant 66% d'oxygène, 25% de CO2, et 9% de N2, ne permet qu'une conservation de deux semaines à +2°C

(Christopher, Smith, Dill, Carpenter et Vanderzant, 1980). Cette moindre conservation tient évidemment à la présence d'oxygène, nécessaire au maintien d'une couleur attractive, mais qui permet en contre partie, la croissance des *Pseudomonas* spp, de *B. thermosphacta* et des *Psychrobacter* spp (anciennement *Acinetobacter* spp). A part la présence de CO2, ou au contraire l'absence de gaz, les autres facteurs expliquant la sélectivité de ce mode de conservation sont, une fois de plus, la psychrotrophie des bactéries qui dominent la flore microbienne. C'est particulièrement vrai pour les espèces qui sont toujours présentes dans ces produits, mais qui ne constituent qu'une sous partie de la flore, *Enterobacter* spp, *Hafnia* spp, *Citrobacter* spp. Ces entérobactéries arrivent à croître, en raison de leur relative psychrotrophie, mais ne sont pas le plus souvent des micro-organismes d'altérations spécifiques d'une part dans la mesure ou elles n'atteignent que des concentrations limitées en fin de conservation (moins de 10^5/g) et d'autre part ou on les trouve dans d'autres aliments réfrigérés (Blixt et Borch, 1996). Les écosystèmes des produits carnés conservés sous vide ou en atmosphères contrôlées sont systématiquement dominés par des bactéries lactiques qui elles, sont vraiment typiques des produits carnés. Ainsi, ***Lactobacillus sakei, Lactobacillus curvatus,*** *Leuconostoc gelidum, Leuconostoc carnosum, Carnobacterium piscicola, C. divergens* peuvent y être isolés selon les produits. Toutes ces espèces sont psychrotrophes, mais toutes se développent préférentiellement sur substrats carnés (y compris le muscle de poisson). La présence de quantités importantes de bactéries lactiques non protéolytiques sur un substrat riche en protéines et pauvre en sucres peu paraître, à première vue, très surprenante. En réalité, on est longtemps resté incapable de vraiment comprendre pourquoi par exemple *L sakei* arrivait à dominer la flore microbienne des viandes conservées sous vide et maintenues au froid. Depuis le séquençage du génome de cette bactérie en 2005, et la comparaison des gènes et opérons qu'on y a trouvé avec ceux d'autres espèces proches de lactobacilles, il semble que des pistes sérieuses et nouvelles permettant de lier *L sakei* à son substrat carné se fassent clairement jour. Ainsi, bien que la psychrotrophie marquée de *L sakei* soit évoquée dés les années 1980 par Reuter pour expliquer sa domination, rien ne permettait de lier cette propriété à des gènes impliqués dans la résistance au froid. Chaillou *et al* (2005) ont clairement montré la présence de 4 gènes codant de petites protéines de chocs froids, les Csps déjà connues chez d'autres espèces bactériennes pour leur permettre de s'acclimater et de croître au froid (Hebraud *et al* ,1994) ; un nombre aussi élevé de ces gènes est cependant rare chez les bactéries lactiques. Ainsi, ils ne sont que 3 chez *L plantarum* qui occupe pourtant des niches écologiques environnementales proches de celles de *L sakei* et que l'on peut parfois isoler des produits carnés. Un seul de ces gènes existe chez *L acidophilus*, bactérie dont la niche écologique est à température constante (37°C), le tube digestif des mammifères. La viande est comme nous l'avons déjà dit, un milieu pauvre en glucose, et la mise en évidence d'un petit nombre de systèmes de transports de ces sucres, chez *L sakei* semble aussi aller dans le sens d'une adaptation à ce milieu. Ceci étant, et pour compenser, l'absence de glucose dans les produits carnés, *L sakei* semble pouvoir utiliser le ribose provenant de la dégradation de l'IMP et de l'inosine, présents dans la viande en concentrations 30 fois plus importantes que le glucose (Fig 3). Enfin, l'existence de voies d'utilisation du glycogène et de l'arginine (démontrée dans les produits carnés) semble aussi nécessaire pour assurer certains besoin en énergie de cette bactérie lactique.

L'analyse du génome de *L sakei* révèle également, l'existence de 40 gènes d'oxydo réduction impliqués dans la résistance au stress en général et notamment au stress oxydatif. De ce fait, *L sakei* paraît ainsi être un des lactobacilles les mieux armés pour combattre le stress oxydatif et s'adapter aux variations de concentrations d'oxygène, notamment celles qu'elle peut rencontrer dans la viande. Par ailleurs, la présence d'une catalase dont l'héme pourrait être fourni par la viande, et d'enzymes impliqués dans la production d'eau oxygénée révèle une grande souplesse d'adaptation et peut être aussi un élément d'explication à certaines inhibitions exercé par *L sakei* vis à vis d'autres bactéries concurrentes dans les produits carnés. Enfin, la présence de transporteur de composés osmoprotectants en nombre plus important que chez de nombreux lactobacilles, révèle une aptitude à la résistance au sel qui explique en partie pourquoi cette espèce est présente dans les produits de salaisons.

On voit donc que *L sakei* est particulièrement bien adapté à l'écosystème « viandes » en général et au sous écosystème « viandes sous atmosphères modifiées » en particulier. Il est probable que certaines des caractéristiques génétiques mises en avant chez *L sakei* se retrouvent chez les autres espèces de bactéries lactiques déjà citées et également typiques des substrats carnés, *L. gelidum, L carnosum* ou encore *C. piscicola*. Toutefois en absence d'études approfondies, les bases de l'adaptation de ces bactéries aux substrats carnés restent à ce jour hypothétiques.

Les écosystèmes microbiens des produits de salaisons

Les produits de salaisons dont la microflore joue un rôle capital sur l'évolution et les qualités organoleptiques sont surtout des produits fermentés et en particulier les saucissons secs ou produits équivalents. Une différence principale caractérisent les produits carnés fermentés par rapport au produits frais, c'est le fait que les technologues essaient, dans ces produits, de favoriser au mieux le développement de ferments typiques des produits carnés, appartenant principalement aux genres *Lactobacillus (**L sakei,** L . curvatus, L.plantarum) et Staphylococcus (**S. xylosus, S. equorum, S. saprophyticus,** S. carnosus, S succinus, S warneri)* et qui sont responsables de ta transformation en véritables saucissons, des mélanges de gras et maigre (mêlées), utilisés au début de leur fabrication. Ces ferments produisent, prioritairement, au cours de leur croissance, de l'acide lactique qui est nécessaire au bon déroulement du processus de fabrication et qui contribue à inhiber les flores microbiennes indésirables. Dans les produits de type saucisson sec, les ferments sont donc les alliés du technologue, c'est un peu le contraire de ce qui se passe dans les produits frais ou la flore microbienne est, le plus souvent, son ennemie. Ceci étant, pour obtenir à coup sûr le développement de cette flore carnée désirée par fermentation homo-lactique du glucose ou du saccharose, trois

opérations sont souvent nécessaires, ou mises en œuvre dans la plupart des ateliers de fabrications à grande échelle, ou industrielles, de saucissons secs :

1) L'ajout dans les mêlées, de sucres (de sel et d'épices) en début de transformation pour favoriser le développement de la flore lactique ***spécifique***.
2) L'ajout de ces ferments ***spécifiques*** sélectionnés au préalable pour leur aptitude à se développer dans les saucissons et à produire les arômes recherchés par les consommateurs après une période de maturation-séchage.
3) Un étuvage des saucissons à des températures proches de 23°C.
Ces deux opérations sont suivies d'une phase de maturation-séchage, qui

i) Favorise le développement de la couleur des saucissons et la production des arômes de salaisons, produits du métabolisme des ferments dans les viandes
ii) Tend à éliminer les flores non ferments nuisant aux qualités organoleptiques et hygiéniques.

Il est donc clair que les écosystèmes microbiens des produits carnés fermentés, sont véritablement orientés et « construits » quantitativement et qualitativement par les salaisonniers depuis la phase d'embossage des saucissons jusqu'à la fin des opération de maturation-séchage.

Dans, certains cas cependant, ces trois opérations ne sont pas toutes mises en œuvre, notamment dans de nombreuses fabrications artisanales, ou fermières, ou la flore nécessaire aux fermentations est uniquement apportée par les contaminations naturelles de la mêlée (mélange de gras, de maigre de porc, et d'épices introduit dans les boyaux servant à faire les saucissons) et dont le développement n'est pas favorisé par l'apport de sucre; la flore de fermentation, dans ces petits ateliers, pourrait aussi éventuellement être apportée par les locaux de fabrication, mais la part des locaux dans l'apport des ferments désirés est très faible, voire nulle, selon les travaux très récents de Talon *et al* (2006). Dans les produits fermiers, la fermentation est donc ***uniquement*** le fait de ferments (encore assez mal connus, Talon et al 2006) dont la présence est espérée, mais non certaine, dans les mêlées initiales, compte tenu des nombreux facteurs pouvant affecter leur présence au plan quantitatif et qualitatif. Ainsi, seules les conditions choisies au cours de la fermentation et de la période de maturation séchage, permettent de faire émerger la flore lactique d'intérêt. Malgré ces difficultés, les écosystèmes microbiens des salaisons fermières sont presque toujours ***dominés par des bactéries très bien adaptées aux conditions imposées***, même si parfois la fermentation est insuffisante (pH final trop haut pH 6.0-6.2 au lieu de pH 5.0-5.2). De telles valeurs couplées à une maîtrise de l'hygiène de fabrication insuffisante, peuvent expliquer des charges importantes de bactéries d'altérations (et/ou productrices d'amines biogènes) qui sont parfois constatées au moment de la commercialisation des produits fermiers, Talon *et al* (2006).
Dans le cas des fabrications industrielles, les flores ajoutées pourraient, en théorie, entrer en compétition avec les flores déjà présentes dans les produits et parfois être supplantées par ces dernières. En réalité, depuis de nombreuses années l'ajout de ferments exogènes est bien maîtrisé ***(surtout depuis que l'on introduit des ferments issus d'écosystèmes microbiens carnés)*** et les produits ainsi obtenus présentent des pH suffisamment bas (proches de pH 5.0) et des caractéristiques organoleptiques bien standardisées.

Conclusion :

La viande est un support-substrat qui exerce en combinaison avec les autres paramètres de transformations nécessaires à l'élaboration des produits carnés, une pression de sélection qui fait émerger une flore microbienne originale, bien adapté au substrat viande. Il serait intéressant pour toutes les bactéries en cause, et notamment les bactéries lactiques, de déterminer parmi leur propriétés celles qui peuvent expliquer leur multiplication préférentielle, ou celles qui déterminent leur avantage écologique dans les substrats carnés. Une bonne utilisation de ces propriétés, pour sélectionner les souches ou espèces les plus performantes, permettraient de les employer éventuellement comme nouveaux ferments dans les produits de salaisons, mais aussi pour inhiber le développement des flores indésirables, flores d'altérations, voire flores pathogènes dans les produits carnés conservés en l'état.

Bibliographie

Bjorkroth K. J., Vandamme P., Korkeala H. J., Appl Environ Microbiol., 1998, 64(9), 3313-9.
Blixt Y., and Borch E., 1966. In K. I. Hildrum (ed)., 42nd ICoMST. Poster proceedings E-12, pp 191-192.
Chaillou S., Champomier-Verges MC., Cornet M., Crutz-Le Coq AM., Dudez AM., Martin V., Beaufils S., Darbon-Rongere E., Bossy R., Loux V., Zagorec M. 2005. Nat Biotechnol. 23(12), 1527-33.
Champomier-Verges MC., Stintzi A., Meyer JM., 1996. Microbiology., 142, 1191-9.
Christopher F. M., Smith G. C., Dill C. W., Carpenter Z. L., 1980. Journal of food protection., 43, 268-271.
Dainty R. H., Mackey B. M., 1992, Soc Appl Bacteriol Symp Ser. 1992. 21, 103S-14S
Dalgaard P.,1995, Int. J. Food Microbiol. 26, 305-317.
Fisher C., Honikel K. O., 1977, Fleischwirtshaft, 57, 1348-1350.
Gardner G. A., 1982. In: Psychrotrophic micro-organisms in spoilage and pathogenicity. T., A., Roberts Ed. Ch 14., pp 139-173.
Gill C.O., Newton K.G., 1977, J Appl Bacteriol., 43(2):189–195.
Hebraud M., Dubois E., Potier P., and Labadie J., 1994. Journal of Bacteriology, 176, 4017-4024.

Kadurugamuwa J. L., Beveridge T. J., 1995. J Bacteriol., 177(14), 3998-4008.
Labadie. J., 1999. Meat Science., 52, 299-305.
Lebert I., Bégot C., Lebert A., 1998, Int. J. Food Microbiol., 39(1-2), 53-60.
Leistner L., 1992, Food research International, 25, 151-158.
Molin G., Ternström A., 1982, J General Microbiology, 128, 1249-1264.
Renerre M., 1986, Meat Chilling. Bristol, UK: C2 commission.
Talon R., 1984, Colloque SFM. Abstracts P4 , 8-9 Novembre.
Talon R., 2006, Projet européen QLK1-CT-2002-02240. Assessment and improvement of safety of traditional dry sausages from producers to consumers. TRADISAUSAGE (2003-2006).
Thompson S. S., Naidu Y. M., Petska J. J., 1985, Applied and Environmental Microbiology, 50, 1038-1042.

PORTAGE SAIN ET EXCRETION FECALE PAR LES RUMINANTS DE SOUCHES D'*ESCHERICHIA COLI* ENTEROHEMORRAGIQUES RESPONSABLES DE TOXI INFECTIONS ALIMENTAIRES

Christine MARTIN
INRA Clermont-Ferrand-Theix, Unité de Microbiologie, 63122 Saint-Genès-Champanelle

Les *Escherichia coli* entérohémorragiques (EHEC), aussi appelés *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxines (STEC), sont responsables de diarrhées et de colites hémorragiques (CH), pouvant se compliquer d'un syndrome hémolytique et urémique (SHU) ou d'un purpura thrombotique thrombocytopénique.

Epidémiologie

Depuis 1982, des épidémies de grande envergure (plusieurs centaines voire plusieurs milliers de cas) aux Etats-Unis, au Japon mais aussi en Europe, ont alerté les pouvoirs publics sur les dangers potentiels de ces bactéries. Entre 1982 et 2000, 238 épidémies documentées impliquant le sérotype O157:H7 ont été rapportées aux Etats-Unis. La plus marquante, survenue en 1993, a touché plus de 500 personnes dont 45 ont développé un SHU (3 décès). D'autres épidémies d'envergure ont touché le Japon en juillet 96 (plus de 9000 cas, 12 décès), l'Ecosse en décembre 96 (512 cas, 18 décès), les Etats-Unis en août 99 (921 cas de diarrhée, 2 décès), le Canada en mai 2000 (plus de 2000 cas, 7 décès). Alors que les grandes épidémies sont souvent bien documentées, il est beaucoup plus difficile d'avoir des données concernant les cas sporadiques, dont un grand nombre sont dus à des EHEC non-O157.

La France a connu seulement deux véritables épidémies, survenues en octobre-décembre 2005. La première, due à *E. coli* O157 :H7, était liée à la consommation de steaks hachés surgelés dans le sud-ouest. Elle a touché 69 personnes, dont 57 enfants de moins de 13 ans. Un adulte et 16 enfants ont présenté un SHU. La seconde, en Normandie, était due à la présence de *E. coli* O26 dans des camemberts au lait cru. Dix sept enfants de moins de 6 ans ont présenté un SHU. Depuis 1996, un réseau de surveillance du SHU chez les enfants de moins de 15 ans a été mis en place par l'institut de veille sanitaire et les pédiatres néphrologues. Durant cette période, 62% des 859 SHU recensés ont été attribués avec certitude à des souches EHEC. L'incidence annuelle du SHU varie de 0.59 à 1.01 pour 100 000 enfants de moins de 15 ans. En 2005, 122 cas, dont 89 sporadiques, ont été recensés.

Le réservoir principal des EHEC est le tube digestif des ruminants, et principalement des bovins. La matière fécale des bovins est à l'origine de la plupart des cas de contamination humaine. Plusieurs modes de transmission sont possibles : par l'intermédiaire d'aliments, principalement viande de bœuf hachée, mais également produits laitiers non pasteurisés, ou fruits et salades ayant été en contact avec du fumier. Des cas de contamination par l'eau de boisson ou de baignade sont de plus en plus fréquemment rapportés. La contamination interhumaine et la transmission par contact direct avec des animaux sont également possibles. La « dose infectieuse moyenne » serait extrêmement faible, de l'ordre de quelques dizaines de microorganismes (50 bactéries).

Facteurs de virulence

Les EHEC adhèrent sur la muqueuse colique en causant des lésions très caractéristiques appelées lésions d'attachement-effacement. Celles-ci se manifestent par la destruction des microvillosités des entérocytes et par la formation d'un piédestal sur lequel les bactéries adhèrent de façon très étroite. Les gènes responsables de ce phénotype sont portés par un îlot de pathogénicité appelé LEE (locus of enterocyte effacement). Le LEE code pour un système de sécrétion de type III (SSTT) qui permet à la bactérie d'injecter directement dans la cellule hôte des protéines effectrices. Ces protéines, dont la plupart sont également codées par le LEE, interfèrent avec la signalisation cellulaire pour conduire à la formation du piédestal. Le LEE code également pour une adhésine, appelée intimine, qui permet l'adhésion étroite de la bactérie à l'entérocyte. La grande majorité des souches O157 :H7 portent le LEE, mais ce n'est pas le cas de certaines souches pathogènes non-O157 :H7. D'autres gènes, non portés par le LEE, codent pour des facteurs impliqués dans l'adhésion des bactéries à des lignées de cellules épithéliales *in vitro* ou influencent la colonisation du tube digestif dans des modèles animaux (*lpf, iha, efa-1, saa*). Certains sont présents aussi bien chez des souches O157 :H7 que non-O157, d'autres uniquement chez des souches non-O157 LEE-négatives. Leur rôle effectif dans l'adhésion à l'épithélium du côlon n'a cependant pas été démontré.

Les Shiga-toxines sont les facteurs responsables des symptômes hémorragiques de l'infection et des complications graves (SHU et purpura thrombotique throbocytopénique). Deux types de Shiga-toxines sont produites par les STEC, la Shiga-toxine 1 (Stx1) et la Shiga-toxine 2 (Stx2). Leurs séquences primaires présentent 60% d'identité mais elles possèdent des propriétés immunologiques différentes. Les études épidémiologiques montrent que les souches produisant seulement Stx2 sont plus fréquemment associées à des maladies graves que les souches produisant seulement Stx1 ou les deux toxines simultanément. Ces toxines sont constituées de 5 sous unités B qui permettent la liaison au récepteur cellulaire, le globotriaosylceramide Gb3, et d'une sous unité A qui est la sous unité catalytique. Les Shiga-toxines sont produites par les STEC dans la lumière intestinale. Deux voies sont proposées pour leur transport à travers la barrière épithéliale : soit la voie intra cellulaire, mais les entérocytes n'expriment pas le récepteur Gb3, et le mécanisme n'est pas clairement caractérisé ; soit la voie para cellulaire, l'augmentation de la perméabilité cellulaire par destruction des jonctions serrées et la réponse inflammatoire induite par l'infection favorisant la translocation des toxines. Les cellules

cibles des Shiga-toxines sont les cellules endothéliales des vaisseaux sanguins, en particulier de l'intestin, du rein et du cerveau, riches en Gb3. Après liaison au récepteur, la toxine est internalisée et subit un transport rétrograde de l'appareil de Golgi vers le réticulum endoplasmique. La sous unité A possède une activité N-glycosidase qui altère l'ARN 28S ribosomal, conduisant à l'arrêt de la synthèse protéique et à la mort cellulaire. Ceci stimule l'adhésion des polynucléaires neutrophiles à l'endothélium, la coagulation sanguine, l'agrégation plaquettaire, une déposition de fibrine ; il s'ensuit une thrombocytopénie et une lyse mécanique des érythrocytes.

Portage sain de souches EHEC par les ruminants

Les ruminants hébergent de façon transitoire des souches EHEC dans leur tractus gastro intestinal (TGI) sans en être affectés, et excrètent ces organismes dans les matières fécales. La durée et le taux d'excrétion fécale sont très différents d'un animal à l'autre. Après une infection, naturelle ou expérimentale, certains animaux éliminent les EHEC en moins d'une semaine, d'autres en 1 mois, d'autres en plus de deux mois. Les raisons de ces différences individuelles ne sont pas connues, mais peuvent inclurent le statut immunologique de l'animal, les conditions physico chimiques du contenu gastro intestinal, ou encore la composition et l'activité de la microflore autochtone. Le site de persistance des EHEC dans le TGI semble aussi variable d'un individu à l'autre. Certaines études indiquent que ce serait le rumen, alors que d'autres citent plutôt le cecum et le côlon, ou encore le rectum. Bien que les EHEC adhèrent *in vitro* à la muqueuse colique bovine en formant des lésions d'attachement-effacement, les EHEC sont très rarement retrouvés associés aux tissus chez les animaux porteurs, mais sont généralement isolés des contenus digestifs. Il ne semble donc pas exister une réelle colonisation des muqueuses digestives par les EHEC, à l'exception de la muqueuse recto anale qui a été décrite comme un site préférentiel de colonisation, mais par les souches O157 :H7 uniquement. Certains facteurs bactériens favorisant la persistance des EHEC dans le TGI ou la colonisation de la muqueuse recto anale ont été identifiés, tels que le facteur d'adhésion Efa-1, le système de sécrétion de type III, l'intimine et son récepteur.

Influence du régime alimentaire du ruminant sur la persistance des EHEC dans le TGI

En influençant les conditions physico chimiques du contenu ruminal, le régime alimentaire influence la durée et le taux d'excrétion fécale des EHEC. Bien que la variabilité individuelle soit ici encore élevée, il a été observé qu'un régime riche en fibres favorise la durée et le taux de l'excrétion fécale de *E. coli* O157 :H7 comparé à un régime riche en céréales. Des perturbations de la microflore autochtone dues à un changement brutal de régime ou à un jeûne alimentaire favorisent également le développement et l'excrétion fécale des EHEC.

Pour étudier l'influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la survie des EHEC dans les contenus digestifs du ruminant, nous avons prélevé du jus de rumen et préparé des échantillons fécaux provenant de moutons nourris avec différents régimes. Ces prélèvements ont été ensemencés avec une *E. coli* O157 :H7. La croissance ou la mortalité de cette souche a été déterminée après 18h de culture en anaérobiose. Nous avons montré que la nature du régime alimentaire influence la croissance de *E. coli* O157:H7 dans le rumen en modifiant les conditions physico-chimiques : un pH légèrement acide combiné à une concentration d'acides gras volatils élevée, résultant d'un régime riche en céréales, n'est pas favorable à la survie de la souche pathogène. De plus, la microflore ruminale inhibe fortement son développement. En revanche, le milieu fécal représente un milieu favorable à la croissance de *E. coli* O157 :H7 indépendamment du régime alimentaire des animaux, et la flore fécale n'exerce aucun effet barrière sur ce pathogène.

Influence du régime alimentaire du ruminant sur la résistance à l'acidité des EHEC

Les études épidémiologiques montrent que la dose infectieuse des EHEC est très faible, ce qui indique que ces souches présentent une acido résistance élevée puisqu'elles sont capables de résister aux conditions extrêmement acides de l'estomac de l'homme. Les mécanismes d'acido résistances sont très souvent des mécanismes inductibles, qui se mettent en place lors d'un séjour dans un environnement moyennement acide. Le contenu ruminal d'un animal nourri avec un régime riche en céréales pourrait constituer un tel environnement favorable à l'induction de l'acido résistance chez les EHEC. Très peu d'études ont été réalisées *in vivo* et leurs résultats sont conflictuels. Nous avons évalué l'acido résistance de souches EHEC en mesurant leur survie dans du jus de caillette (pH 2.5) après les avoir cultivés dans du contenu ruminal provenant d'animaux nourris avec différents régimes. Les résultats obtenus indiquent que la résistance à l'acidité de la caillette est influencée par l'état physiologique des bactéries dans le rumen et par les conditions physico-chimiques qu'elles y ont rencontré. Ainsi, lorsque les STEC ont séjourné dans un jus de rumen provenant d'animaux nourris avec un régime riche en maïs, elles développent des mécanismes de résistance au choc acide qui leur permettent de survivre au passage dans la caillette, alors qu'elles ne développent pas ces mécanismes lorsqu'elles ont séjourné dans un jus de rumen provenant d'animaux nourris au foin.

Conclusion

S'il est évident que des changements brutaux dans l'alimentation ou un jeûne favorisent le développement des EHEC dans le TGI, il est difficile à l'heure actuelle de préconiser un régime alimentaire permettant de limiter le portage sain des EHEC par les ruminants. La plupart des observations indiquent qu'un régime riche en céréales limite la durée de l'excrétion fécale des EHEC. Cependant, un tel régime peut favoriser l'émergence d'EHEC acido résistantes, qui survivront mieux dans les produits acides et lors du passage dans l'estomac de l'homme. Ces pathogènes présenteront ainsi un risque plus élevé en termes de contamination des aliments et de santé humaine. Les voies de recherche s'orientent maintenant vers l'utilisation de probiotiques pour réduire à la fois le portage et l'acido résistance des EHEC.

SESSION 4

Hygiène et Sécurité sanitaire

Animateurs : Jean-Pierre Frencia (Adiv Association)
et Philippe Fravalo (Afssa-Ploufragan)

Communications orales

La spectroscopie de fluorescence : un outil pour l'identification des bactéries lactiques

YAAKOUBI K., AMMOR S., HAYDERSAH J., DUFOUR E. & CHEVALLIER I.

Unité de Recherches "Typicité des Produits Alimentaires", ENITA Clermont, Site de Marmilhat, BP 35, F-63370 LEMPDES.

Introduction

Les bactéries lactiques constituent un acteur essentiel dans les processus de fermentation. Dans le cas de la fabrication des saucissons secs fermiers où il n'y a pas d'ajoût de ferments industriels, il apparaît indispensable de connaître les genres, voir même les espèces et les souches, qui interviennent dans ce processus de fermentation. Ceci dans une perspective de mise en place de procédures d'amélioration de la qualité hygiénique et technologique du saucisson sec, sans en altérer la typicité.

L'identification des micro-organismes par les procédures phénotypiques conventionnelles basées sur les tests morphologiques et biochimiques présentent des limites en terme de reproductibilité et de précision et sont très consommatrices en temps et en réactifs. Les méthodes moléculaires (PCR, RAPD, …) sont venues diminuer remarquablement la durée de l'analyse; néanmoins elles restent très coûteuses. Dans cette étude, nous avons testé l'aptitude d'une méthode développée au niveau de notre équipe de recherche (Leblanc & Dufour, 2002), en l'occurrence la spectroscopie de fluorescence pour l'identification des bactéries lactiques.

Matériel et méthodes

Souches et conditions de croissance

Vingt souches de références appartenant aux genres *Lactobacillus, Carnobacterium, Weissella, Leuconostoc, Pediococcus, Enterococcus, Lactococcus* et *Vagococcus* et issues de collections internationales (ATCC, CIP, ...) ont été utilisées pour constituer le jeu de calibration.

Quatre vingt-huit isolats de la flore lactique provenant d'un atelier de Haute Loire ainsi que 60 isolats provenant de deux ateliers sélectionnés (F02-F08) parmi les 10 ateliers impliqués dans l'étude Tradisausage ont été identifiées par les techniques classiques et ont constitué le jeu de validation. Les bactéries lactiques ont été cultivées à 30°C sur milieu APT et analysées en phase exponentielle de croissance. La culture a été centrifugée et le culot a été lavé 2 fois par une solution physiologique. Après la dernière centrifugation, le culot est repris par de l'eau physiologique de manière à obtenir une D.O. à 620 nm de 0,05 et l'échantillon est ensuite placé dans une cuve en quartz.

Méthodes d'identification par spectroscopie de fluorescence:

Les spectres de fluorescence ont été obtenus en utilisant un spectrofluorimètre FluoroMax-2 (Spex-Jobin Yvon, NJ, USA). Le principe consiste à exciter des sondes fluorescentes naturellement présentes dans les cellules bactériennes (tryptophane, acides aminés aromatiques, …). Nous nous sommes attachés à développer un modèle de prédiction en se basant sur les 20 espèces lactiques de référence. Dans un premier temps, trois types de sondes ont été retenues pour l'analyse: Tryptophane (Excitation: 270; Excitation: 280-480), acides aminés aromatiques (Ex: 250; Em: 280-480) et NADH (Ex: 316; Em: 380-550). Puis, dans un second temps, seule la sonde des acides aminés aromatiques a été retenue pour l'analyse et les spectres ont été enregistrés entre 280-480 nm pour les souches de référence et les isolats des ateliers fermiers. Les données acquises ont été traitées par des méthodes chimiomètriques (ACP, ACH, etc.).

Les techniques de biologie moléculaire et de spectroscopie de fluorescence ont été appliquées à l'identification de l'ensemble des isolats provenant des ateliers fermiers.

Résultats et discussion

Les résultats des analyses factorielles discriminantes (AFD) réalisées sur les collections spectrales indiquaient des pourcentages de bonne classification à l'échelle du genre de respectivement 98,3%, 97,8% et 95,6% pour les sondes AAA+AN, NADH et FAD. Il est à noter que la carte factorielle obtenue suite à l'AFD réalisée sur la collection spectrale de la sonde NADH montrait une nette discrimination du genre *Leuconostoc* par rapport aux autres genres. Cette discrimination pourrait être reliée au métabolisme des bactéries hétérofermentaires. En effet, ces dernières ont l'aptitude d'utiliser les accepteurs d'électrons externes pour régénérer le NADH et donc produire plus d'énergie (Axelsson, 1998).

A l'échelle de l'espèce, nous avons obtenu des pourcentages de bonne classification de respectivement 100%, 88,9% et 88,9% pour les spectres AAA+AN, NADH et FAD. Enfin, à l'échelle du genre-espèce, les analyses ont donné des pourcentages de bonne classification de respectivement 100%, 88,9% et 97,8% à partir des spectres AAA+AN, NADH et FAD.

A l'issue de ces résultats, nous avons adopté la sonde AAA+AN pour tenter d'identifier les espèces isolées au niveau des ateliers fermiers. Parmi les 88 souches identifiées par approches phénotypique et génotypique, 33 % des isolats identifiés pour chaque espèce ont été retenus : 12 *Lb. sakei*, 7 *Ec. faecium*, 5 *Lc. garvieae*, 4 *Vc. carniphilus* et 1 *Ln. mesenteroides* subsp. *dextranicum* 2 ont été utilisés pour cette étude.

Parmi les 29 espèces considérées, 28 ont été correctement identifiées. Seul *Ln. mesenteroides* subsp. *dextranicum 2* n'a pas été correctement classé. Ceci peut s'expliquer par le choix de la souche de référence qui était *Ln. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*. Ce résultat laissant présumer la possibilité de discrimination de la méthode à l'échelle de la sous-espèce, d'autres analyses ont été réalisées. Les résultats ainsi obtenu ont montré une discrimination de 100% pour 12 espèces de *Lb. sakei* divisées en 2 sous espèces : subsp. *sakei* et subsp. *carnosus*.

Par ailleurs, les spectres de 60 isolats des deux autres ateliers français de l'étude Tradisausage ont été enregistrés et les résultats des analyses ont montré une bonne corrélation avec les identifications PCR espèces spécifiques, montrant que le F02 était essentiellement colonisé par *Lb sakei* alors que F08 possèdait une flore essentiellement dominées par *Enterococcus spp*.

Conclusion

L'ensemble des résultats d'identification par spectroscopie de fluorescence indique que la fluorescence intrinsèque d'une bactérie constitue une empreinte digitale puisque le traitement multidimensionnel (méthodes exploratoires et méthodes discriminantes) des données spectrales nous a permis d'identifier correctement la totalité des bactéries lactiques de références de notre modèle au niveau du genre, de l'espèce et même de la sous-espèce. Un total de 92% des souches isolées des ateliers a été correctement identifié au niveau de l'espèce.

Remerciements :
Fifth European Community Framework Programme, Quality and Life Management of Living Resources
N°QLK1 CT-2002-0224 – TRADISAUSAGE - Coordinateur : R. Talon (INRA), France

INTERET D'UN FERMENT DANS UN PRODUIT FERMIER

TALON[1] R., LEROY[1] S., LEBERT[1] I., LEBECQUE[2] A.

[1]Unité Microbiologie, INRA, Centre Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France.
[2] Unité Typicité des Produits Alimentaires, ENITAC, Site de Marmilhat, 63 370 Lempdes, France

Introduction

Les producteurs de saucissons traditionnels éprouvent des difficultés techniques et financières à se conformer aux normes officielles de sécurité alimentaire (Directive 93/43 EEC), particulièrement aux normes d'hygiène, peu adaptées à des unités de production de petite taille. Pour garantir la pérennité de ces installations, véritables acteurs du développement de l'économie dans les zones rurales d'Europe centrale et du Sud, il est important de leur donner les moyens de produire des produits sûrs. L'approche envisagée dans le projet européen Tradisausage a consisté à faire l'inventaire des flores des ateliers de salaisons et à privilégier l'implantation d'une flore bénéfique isolée de ces ateliers pour empêcher le développement de populations nuisibles.

Matériels et Méthodes

L'étude a été réalisée dans l'atelier fermier F08 et la fabrication du saucisson a été réalisée selon le procédé en cours dans cet atelier. La mêlée a été divisée en trois lots. Le premier lot a servi de témoin, la fermentation a donc été réalisée par la flore naturellement présente dans la mêlée. Dans le deuxième lot, du saccharose à 5 g/kg a été ajouté. Dans le troisième lot, du saccharose à 5 g/kg et un ferment ont été ajoutés à raison de 10^6 bactéries par gramme de mêlée. Le ferment était composé d'un mélange de *Lactobacillus sakei* (F08F202), *Staphylococcus equorum* (F08bF15) et *Staphylococcus succinus* (F08bF19). Ces trois souches ont été isolées des saucissons fermiers produits dans l'atelier F08. Pour les trois lots, la fermentation a duré deux jours à 20°C et a été suivie par un séchage de 49 jours à 12°C. L'implantation des ferments a été suivie par diverses méthodes moléculaires.

Les trois produits (mêlée, produit fermenté et produit final) ont été analysés pour la flore pathogène et six microflores (cf tableau 1). Le pH et l'activité de l'eau ont aussi été mesurés. Les échantillons ont également été analysés pour leur teneur en amines biogènes. Au stade final, les qualités sensorielles des saucissons ont été évaluées par un jury.

Résultats et discussion

Rôle du ferment et du saccharose sur la flore

Dans les lots témoin et saccharose, les flores technologiques (LAB, STAPH, tableau 1) présentes à un niveau initial de 4,0 log UFC/g ont augmenté pendant le procédé pour atteindre 6,5-7.0 log UFC/g à la fin du séchage. Dans le lot avec ferment, la flore technologique dans la mêlée était conforme au niveau ensemencé. La population des bactéries lactiques a ensuite augmenté de deux log pendant la fermentation, et d'un log pendant le séchage. Les staphylocoques et *Kocuria* ont augmenté d'un log pendant la fermentation, et sont revenus à leur niveau initial en fin de séchage.

Les entérobactéries ont augmenté pendant la fermentation dans les trois lots. Mais la population est restée stable dans le lot saccharose, elle a diminué de 2,0 log dans le témoin et 2,5 dans le lot ensemencé. Le niveau final étant plus bas dans le lot avec ferment. Les *Pseudomonas* ne se sont pas développés pendant la fermentation puis leur quantité a diminué uniquement dans les lots témoin et avec ferment. Les entérocoques n'ont pas cessé de croître dans les lots témoin et saccharose et leur niveau est passé de 2,0 à 6-7 log UFC/g entre la mêlée et le produit final. L'ajout de ferment a fortement inhibé la croissance des entérocoques pendant la fermentation. Toutefois, pendant le séchage, leur niveau a augmenté mais sans dépasser 4,2 log UFC/g.

L. monocytogenes n'a pas été détectée dans la mêlée. Dans les lots témoin et saccharose, *L. monocytogenes* a atteint un niveau supérieur à la norme autorisée qui est fixée à 2.0 log UFC/g. Par contre son niveau est resté stable dans le lot ensemencé et n'a pas dépassé la norme.

Dans les trois lots le pH et l'a_w étaient proches dans le produit final.

Tableau 1 : Les flores et les caractéristiques physicochimiques des différents saucissons

Lot	Produit	LM	LACT	STAPH	ENTC	ENTB	PSEU	*L. mono*	pH	a_w
Témoin	Mêlée	3,7	4,1	3,5	2,0	3,0	4,5	< 1,0	5,6	0,966
	Fermenté	4,2	5,1	5,5	3,1	5,1	4,6	1,1	5,9	0,962
	Final	4,2	6,6	6,6	6,2	2,8	3,0	2,7	6,9	0,841
Saccharose	Mêlée	3,8	3,9	3,5	2,0	2,9	4,4	< 1.0	5,6	0,966
	Fermenté	4,5	5,8	5,6,	3,7	5,2	4,8	1,3	5,7	0,963
	Final	5,0	6,9	6,7	6,8	5,1	4,8	2,4	6,8	0,890
Saccharose +Ferments	Mêlée	4,2	6,3	6,3	2,0	3,1	4,6	< 1,0	5,6	0,964
	Fermenté	4,3	8,0	6,9	1,2	4,6	4,9	1,0	5,6	0,966
	Final	4,1	8,8	6,1	4,2	2,0	3,5	1,1	6,7	0,867

Données exprimées en log UFC /g : limite de détection pour *L.* monocytogenes : 1,0 log CFU/g

LM, Levures et moisissures; LACT, bactéries lactiques; STAPH, *Staphylococcus* et *Kocuria*; ENTC, *Enterococcus*; ENTB, *Enterobacteriaceae*; PSEU, *Pseudomonas*

Rôle du ferment et du saccharose sur la teneur en amines biogènes

Les saucissons produits dans cet atelier montrent des teneurs élevées en cadavérine qui sont liées à des populations fortes en entérobactéries (tableau 2). L'addition de saccharose se traduit par une légère augmentation de la teneur en certaines amines (tyramine et cadavérine). Alors que l'ajout de ferments a permis de contrôler la flore productrice de tyramine, puisque l'accumulation de cette amine a été réduite de 87% par rapport au lot témoin (tableau 2). Il a aussi atténué l'accumulation de la cadavérine (réduction de 35%) et de la putrescine (réduction de 27%), production certainement due à la présence des entérobactéries.

Tableau 2 : Rôle du ferment et du saccharose sur les teneurs en amines biogènes

Lot	Produit	Tyramine	Putrescine	Cadavérine	Histamine
Témoin	Mêlée	nd	nd	nd	nd
	Fermenté	nd	nd	8,3	nd
	Final	58,8	26,3	313,0	6,3
	Mêlée	nd	nd	nd	nd
Saccharose	Fermenté	nd	nd	10,7	nd
	Final	85,7	20,7	345,2	8,4
Saccharose + Ferment	Mêlée	nd	nd	nd	nd
	Fermenté	nd	nd	5,0	nd
	Final	7,7	19,2	203,0	3,9

Teneur en amine biogène exprimée en mg/kg matière sèche. nd : non détecté

Rôle du ferment et du saccharose sur les qualités sensorielles

L'ajout de saccharose sans ferment agit sur la couleur en l'éclaircissant, sur la fermeté au toucher en le ramollissant et sur la tenue de tranche en se désagrégeant rapidement en bouche (tableau 3). Il n'a aucun effet sur l'odeur et la flaveur.
L'ajout de ferment avec saccharose n'a pas d'effet sur l'aspect, sur l'odeur et sur la flaveur du saucisson. Le ferment agit sur la texture au toucher en le rendant plus cassant et améliore sa tenue de tranche, par ailleurs la sensation de gras en bouche diminue.

Tableau 3 : Analyse sensorielle des trois lots

	Aspect	Toucher			Texture en bouche	
Lot	Couleur	Ferme	Cassant	Tenue tranche	Gras	Tenue de tranche
Témoin	A	A	A	A	A	A
Saccharose	B	B	A	A	A	B
Saccharose + Ferment	A	A	B	B	B	A

(Les lettres communes par descripteurs indiquent les produits non significativement différents)

En conclusion, l'ajout des ferments a répondu aux deux objectifs fixés :
- l'amélioration des qualités sanitaires par une réduction de la flore pathogène et des entérocoques et par une diminution de la teneur en amines biogènes ;
- le maintien des qualités sensorielles du saucisson sec par le maintien de leur typicité.

Ces résultats font partie du projet européen Tradisausage (QLK1-CT-2002-02240), site web http://www.clermont.inra.fr/tradisausage/index.htm. Les résultats de ce projet concernant la France vont être publiés dans la revue VPC cet automne.

MODELISATION DU COMPORTEMENT DE FLORES TECHNOLOGIQUES ET DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* DANS LE SAUCISSON SEC EN VUE DE LA SECURITE DU PRODUIT – PHASE I

COPPET V.[1], CHRISTIEANS S.[1], HUCHET V.[2]

1. **ADIV, 2 rue Chappe, 63039 Clermont Ferrand cedex 2 ;**
2. **ADRIA Développement, ZA de Creac'h Gwen, 29196 Quimper cedex.**

Introduction

Le saucisson sec est une charcuterie crue, fermentée, séchée et maturée. Ce type de produit est une production de tradition, et est assurée en France par de nombreux fabricants allant du charcutier artisan aux grands groupes industriels. A l'heure actuelle, l'évolution du marché du saucisson sec indique que la demande du consommateur s'oriente de plus en plus vers des produits de bonnes qualités hygiénique et aromatique et de sécurité microbiologique incontestable. La réglementation française soutenue par le règlement communautaire CE 2073/2005, exige la recherche de *Listeria monocytogenes* dans le saucisson sec en imposant l'absence de ce germes dans 25g de produits avec cependant une tolérance de 100 germes/g de produit. En effet, *Listeria monocytogenes* est présente dans la plupart des ateliers de la filière porc, de l'abattage à la transformation. Une étude réalisée par l'ADIV (Thevenot *et al*., 2005), a montré que les souches adaptées aux stress induits par le procédé de fabrication sont plus difficilement éliminées que les souches non adaptées. De telles souches représentent donc un réel problème puisqu'elles sont susceptibles de contaminer les produits lors de leur fabrication et de persister dans les produits prêts à être consommés. Face à ces constats, l'objectif principal de cette étude a été d'établir un modèle mathématique simple permettant de prédire le comportement de Listeria monocytogenes dans le saucisson sec en fonction des paramètres technologiques, dans le but de mieux assurer la qualité et la sécurité de ce type de produit. Le comportement de *Listeria monocytogenes* a été modélisé en fonction de l'évolution des paramètres physico-chimiques du produit : pH, acides, Aw. En microbiologie alimentaire, les techniques de modélisation mathématique ont été appliquées pour prévoir la croissance et la destruction thermiques des flores pathogènes, également pour la modélisation des flores lactiques dans les produits carnés (Vereecken *et al*. 2000, Leroy *et al.* 2000). Les modèles de comportement de *Listeria monocytogenes* au cours du process de fabrication du saucisson sec en fonction de l'évolution des paramètres physico-chimiques, de la maturation et de la conservation du produit ont été utilisés pour suivre l'évolution de ce germe. Ce projet a permis d'identifier ***les étapes clés du process*** au regard du danger *Listeria* et d'en ***optimiser les paramètres*** afin d'obtenir une meilleure inhibition de *Listeria monocytogenes*, par le biais de la modélisation et des challenges tests.

Matériel et méthodes

Avant d'observer le comportement d'une souche de *Listeria monocytogenes* au cours d'une production de saucissons sec, il est indispensable de connaître les valeurs cardinales de cette souche en fonction d'un facteur physico-chimique donné. Ces valeurs cardinales sont définies par l'équation : $\mu = \mu opt\gamma(T)\gamma(pH)\gamma(Aw)$, permettant ainsi de prendre en compte l'effet matrice (µopt). A partir de la connaissance de la souche (ses valeurs cardinales) et à partir d'un taux de croissance de référence dans le produit, il est possible de simuler la croissance de ce microorganisme dans d'autres conditions : $\mu max=\mu opt\rho_1(T)\gamma(pH)\tau(acide)\sigma(Aw)\xi(T,pH,acide,Aw)$. Ainsi, cette équation nous permet d'évaluer le comportement de *Listeria monocytogenes* à différentes températures, pH, Aw, concentrations en acides. Lors de la réalisation des challenges tests, l'avis de l'AFSSA était en cours de révision, c'est pourquoi la souche de référence CIP 78.38 et une souche K46.3 isolée d'un produit sec ont été ensemencées. Les inocula (1000cfu/g) utilisés pour l'ensemencement étaient issus de cultures en phase stationnaire de croissance. Afin d'éviter un biais dans les résultats, toutes les fabrications et les répétitions ont été réalisées avec la même viande de départ, répartie en lots et congelée. Celle-ci a été préalablement analysée afin de lever toute ambiguïté dans les résultats. Au cours des différents challenges tests, une formulation standard a été suivie, constituée par une mêlée représentée par 82% d'épaule et 18% de bardière, et des additifs classiques (poivre, sel, dextrose, salpêtre). Au total, 4 fabrications ont été réalisées (standard et reproduction de défauts) constituées de 3 répétitions par souche, rassemblant un total de 90 produits par production. En parallèle, pour chaque fabrication, un essai témoin a été réalisé en utilisant la même mêlée de départ mais sans ensemencement. Les différents produits fabriqués ont été suivis dans le temps par dénombrement de la concentration en *Listeria monocytogenes* (ISO 11290-2) et en flore lactique (NF V04-503). Un suivi du pH, de l'Aw, un dosage des nitrites et de l'acide lactique ont complété les résultats microbiologiques. Un total de 14 points d'analyse, correspondant aux étapes clés du process : embossage, étuvage, séchage et conservation, a été défini en multipliant les points d'analyse durant l'étape de conservation pour un suivi plus rigoureux du taux de croissance bactérien et une meilleure intégration dans le modèle.

Résultats et discussion

Lors de l'essai de fabrication standard, les résultats expérimentaux mettent en évidence une destruction de *Listeria monocytogenes*, entre 3 et 45 jours de stockage. En faisant intervenir le modèle mathématique appliqué à cette condition de fabrication, cette destruction observée est occasionnée par les caractéristiques physico-chimiques du produit (fig.1). Sur cette figure, les caractéristiques physico-chimiques obtenues à J3 (pH 5.3, Aw : 0.935 et [acides] : 1%) et à DLUO ne permettent pas le développement de *Listeria monocytogenes*.
Ainsi, ces premiers résultats permettent de conclure au fait que le risque d'accident de fabrication industrielle résulte d'une mauvaise combinaison acidification-hygrométrie.

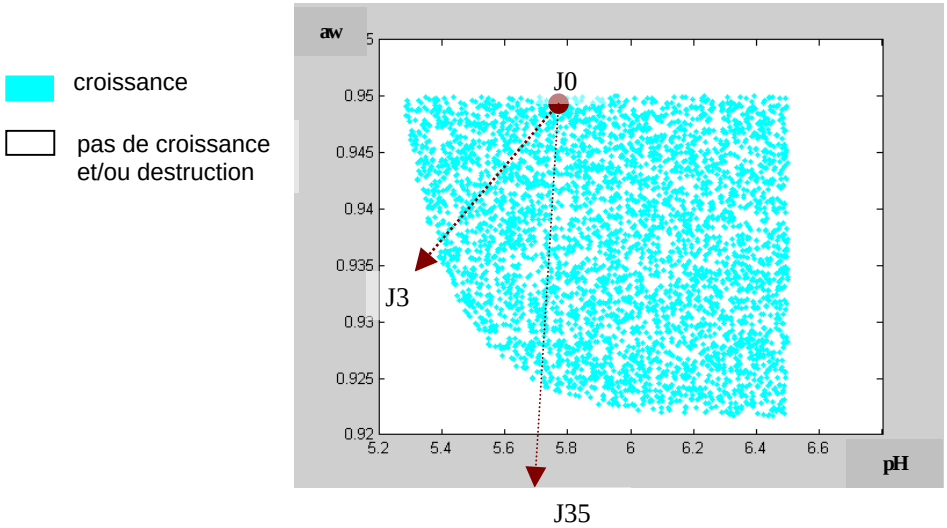


Figure 1 : Interface croissance / non croissance de *Listeria monocytogenes* en fonction des facteurs pH/Aw.

Compte tenu de ces premiers résultats, trois autres fabrications (fabrications sans ferments, hygrométrie et Aw élevées) ont eu pour objectif de reproduire un accident de fabrication susceptible d'engendrer la croissance de *Listeria monocytogenes* au cours du process.
Ainsi les résultats présentés dans la figure 1 montrent que l'interface croissance-non croissance réalisée à partir des valeurs cardinales permet de quantifier les conditions et les combinaisons de facteurs (pH – Aw) responsables d'un accident de fabrication. Dans le cadre du paquet hygiène, ces travaux prouvent que le produit respectera la limite de 100 cfu/g en fin de DLC si la contamination initiale est équivalente à 10 cfu/g.

Conclusion

Vis à vis de la croissance de ce pathogène, la maîtrise de *Listeria monocytogenes* est due à une bonne acidification associée à un bon séchage. Pour pouvoir s'assurer à priori de l'acidification en fonction de la formulation, il reste à prévoir le comportement des bactéries lactiques et la production d'acide lactique en fonction de la formulation et des conditions de stockage.

Références bibliographiques

1) D. Thevenot, ML. Delignette-Muller, S. Christieans, C. Vernozy-Rozand. 2005. Fate of Listeria monocytogenes in experimentally contamined French sausages. Int. J. food Microbiol. 101 (2), 189-200
2) Vereecken K.M., Van Impe J.F. (2000). Experimental validation of a model for combined growth and metabolite production of lactic acid bacteria. Proceedings of the 3rd International Conference on Predictive Modelling in Foods
3) Leroy F., Degeest B., De Vuyst L. (2000). A novel area of predictive modelling: describing the functionality of beneficial microorganisms in foods. Proceedings of the 3rd International Conference on Predictive Modelling in Foods

Remerciements

Ce programme a été financé par l'Office de l'élevage et 5 partenaires industriels.

STATUT DE DANGEROSITE DES CARCASSES DE PORCS VIS-A-VIS DU DANGER *CAMPYLOBACTER spp.*

LAROCHE M[1], MINVIELLE B. [2], LEBIGRE M. [1], DESMONTS M. H. [3], MIRCOVICH C. [2], MAGRAS C. [1]

1- UMR ENVN / INRA 1014 SECALIM, BP 40706, 44307 NANTES Cedex 3
2- IFP - Institut Technique du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35 104, 35 651 LE RHEU Cedex
3- AERIAL, Parc d'Innovation, Rue Laurent Fries, BP 40443, 67412 ILLKIRCH Cedex

Introduction

Les *Campylobacter* représentent un danger bactérien majeur pour l'Homme, puisqu'ils sont responsables du plus grand nombre de gastro-entérites bactériennes dans le monde (OMS, 2000). Des quatre espèces isolées en France sur des cas humains (Gallay et *al.*, 2005) il apparaît que la plus fréquente est *C. jejuni* (75%), puis *C. coli* (16,9%), et plus marginalement *C. lari* (0,3%) et *C. upsaliensis* (0,1%). Les données sur le réservoir animal et sur la contamination des viandes, quoique nombreuses, sont aujourd'hui insuffisantes pour une analyse quantitative du risque. En effet, la prévalence du danger dans la population (animale ou denrées) est estimée, non par le niveau de la contamination, ni même la localisation du danger dans le produit (animal, carcasse). Par ailleurs, si 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 quasi exclusif à *C. coli* (Magras et *al.*, 2004, Alter et *al.*, 2005) 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 et *al.*, 2003, Pezzotti et *al.*, 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.
L'objectif de ce travail était de caractériser le statut de dangerosité - la prévalence, le niveau de contamination, la localisation, et l'identification des espèces - des carcasses de porc vis-à-vis du danger *Campylobacter* à la fin du process d'abattage et à l'entrée du process de découpe.

Matériel et Méthodes

Prélèvements : i) évaluation du statut de dangerosité en fin de process d'abattage : par des prélèvements répartis dans 5 abattoirs, sur une période de 4 mois, effectués sur un site interne (bavette) et un site externe (gorge) de 250 demi carcasses, juste après le poste de pesée ; ii) évaluation du statut de dangerosité en début du process de première découpe : 6 séries ont été réalisées sur 2 ans dans 6 ateliers de découpe primaire différents, conduisant à un total de 300 demi-carcasses réfrigérées issues de porcs abattus la veille. Sur chaque demi-carcasse, 8 sites ont fait l'objet d'un prélèvement : 5 sites externes sur couenne (jambon (Jc), poitrine (Pc), épaule (Ec), longe (Lc) et gorge (Gc)) et 3 sites internes sur viande (jambon (Jv), poitrine (Pv) et bavette (Bv)).
Analyses : Les prélèvements ont été réalisés par excision de 25 cm^2 de surface non cautérisée. Chaque échantillon a été placé dans 10 ml de bouillon Preston et conservé au froid positif jusqu'à son analyse réalisée dans les 24 heures. La détection et le dénombrement ont été réalisés, après un ensemencement direct de la solution mère obtenue après dilacération à l'aide d'un appareil de type Stomacher, sur géloses Karmali et Butzler, incubées à 42°C pendant 5 jours en atmosphère microaérophile. Les colonies suspectes ont été contrôlées après coloration de Gram et examen de la mobilité (état frais), puis comptées. Pour chaque prélèvement positif, un isolat a été réalisé et identifié au rang des espèces, *C. jejuni* ou *C. coli*, par PCR-Multiplex (Van de Giessen et *al.*, 1998). Un prélèvement a été déclaré positif lorsque, sur au moins une boîte, la présence de *Campylobacter* a été constatée. Une demi-carcasse a été déclarée positive lorsqu'au moins un des prélèvements effectués a été déclaré positif. Le niveau de contamination est exprimé en nombre d'unités formant colonies (UFC) par cm^2. Le seuil de détection de la méthode est de 1 UFC/cm^2 pour l'évaluation en début de découpe et de 0,4 UFC/cm^2 pour l'évaluation en fin de tuerie.

Résultats et discussion

Prévalence : Pour les demi-carcasses en fin de tuerie, 58 demi-carcasses ont été détectées positives, 13 sur les deux sites et 45 sur un seul site, soit une prévalence de carcasses contaminées par *Campylobacter* de 23 % [IC95% = 18/29 %]. Avec un effectif plus limité, Nesbakken et al. (2003) obtiennent une prévalence de 29 %. Sur les 300 demi-carcasses entrant en découpe, 29 demi-carcasses ont été détectées positives, 25 sur 1 seul site et 4 sur 2 sites, soit une prévalence de demi-carcasses contaminées de 9,7 % [IC95% = 6,5/13,3 %], même ordre de grandeur que celle obtenue dans la première partie de l'étude (12% Mircovich et *al.*, 2004). En ne tenant compte que des deux sites considérés après tuerie la prévalence est de 4,4 % [IC95% = 2,2/7,4 %]. Elle est tout à fait similaire (4,4% *versus* 6,5%) à celle des seules données avant découpe publiées et obtenues dans des conditions comparables (USDA 1996, mais sur 3 sites poolés).
Localisation : Excepté le site « épaule-couenne », tous les sites ont été détectés positifs au moins une fois (figure 1). Néanmoins pour les sites externes, les sites gorge et poitrine ont été plus fréquemment détectés positifs. Cependant, 80,4 % des demi-carcasses contaminées, toutes confondues (fin de tuerie et entrée découpe), n'avaient qu'un seul site

positif. L'analyse des sites positifs montre, à l'entrée du process de découpe, une répartition équitable de la contamination entre la localisation externe sur couenne (12/25) et la localisation interne sur viande (13/25). En revanche à la fin du process de tuerie, la contamination a été détectée majoritairement sur la face externe (couenne) des demi-carcasses (34 couennes positives *vs* 11 viandes positives). La même répartition des prélèvements positifs entre bavettes/gorges est observée pour les deux évaluations. Il est à noter que la différence de seuil de détection de la méthode analytique entre les 2 évaluations ne suffit pas pour expliquer la différence de prévalence (figure 2) qui est divisée par 5 entre la fin de tuerie et l'entrée en découpe.

Niveau de contamination : Le niveau de contamination moyen pour les 52 prélèvements dénombrables sur géloses Karmali (figure 3) était de 3,5 UFC/cm². Nous ne connaissons aucun résultat bibliographique comparable.

Espèces isolées : Tous les isolats identifiés sont des *Campylobacter coli* et aucun *C. jejuni* n'a été isolé à ces stades de la chaîne de production, ce qui correspond aux résultats bibliographiques rapportés au niveau de l'élevage porcin.

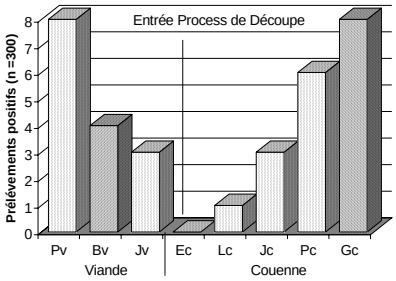


Figure 1 : Prélèvements positifs pour les 8 sites à l'entrée en découpe.

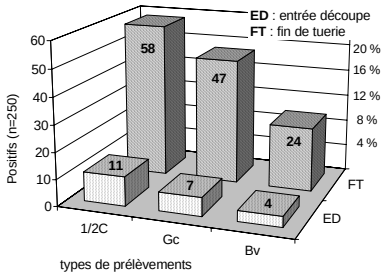


Figure 2 : Effectifs comparés en fin de tuerie et entrée découpe de 1/2 carcasses et prélèvements positifs pour les deux sites (gorge, bavette)

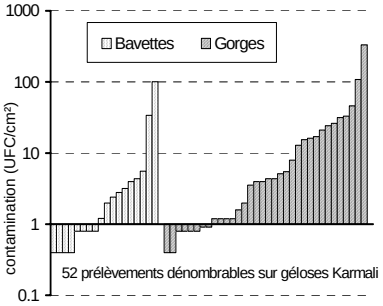


Figure 3 : Niveaux de contamination en *Campylobacter* en fin de tuerie (n = 52)

Conclusions

Cette évaluation du statut de dangerosité des carcasses de porc vis à vis de *Campylobacter* montre d'une part l'intérêt de réaliser au moins deux analyses sur des prélèvements interne (poitrine ou bavette) et externe (gorge) de la carcasse, d'autre part une prévalence et un niveau de contamination beaucoup plus faibles sur les carcasses à l'entrée en découpe, soit après un temps de ressuyage, que sur les carcasses non refroidies en fin de tuerie. Alors que la survie de *Campylobacter* sur matrices carnées en réfrigération "domestique non ventilée" est longue (Laroche et ***al.***, 2004), les conditions industrielles de refroidissement semblent ici réduire le risque *Campylobacter*. Néanmoins, une variabilité peut être observée dans la mise en œuvre de ces conditions. La prévalence de la contamination par *Campylobacter* estimée par ce travail est trop faible pour permettre d'envisager une étude de l'effet réfrigération dans des conditions « terrain », (résultat par contre intéressant en terme de santé publique) et la contamination expérimentale de carcasses en abattoir n'est naturellement pas concevable. L'évolution de la contamination par *Campylobacter* doit donc encore être étudiée afin de compléter ces 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 termes de virulence des souches de *Campylobacter coli* reste à faire.

Références bibliographiques

Alter T., Gaull F., Kasimir S., *et al.* 2005. Vet. Microbiol. **108**: 251-261.

Gallay, A., Prouzet-Mauléon V., De Valk H., *et al.* 2005. Bulletin Académie Vétérinaire de France **158**: 369-376.

OMS (2000). http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs255/fr/

Laroche M., J. Kaiser J., Federighi M., Magras C., 2004. http://www.ofival.fr/vpc/10jsmtv/com-05-02.pdf.

Magras C., Laroche M., Rossero A., Mircovich C., Desmonts M. H., Federighi M., 2004. S.F.M., Bordeaux mai 2004

Mircovich C., Laroche M., Desmonts M.H., Federighi M., Magras C., 2004. http://www.ofival.fr/vpc/10jsmtv/post-05-01.pdf.

Nesbakken T., Eckner K., Hoidal H.K., Rotterud O-J., 2003. Int. J. Food Microbiol. **80,** 231-240.

Pezzotti G., Serafin A., Luzzi I., Mioni R., Milan M., Perin R., 2003. Int. J. Food Microbiol. **82**: 281-287.

Takkinen J., Ammon A., Robstad O., Breuer T. et le Groupe de travail sur Campylobacter. 2003. Eurosurveillance Monthly **8**: 207-213.

USDA (1996). http://www.fsis.usda.gov/Science/Baseline_Data/index.asp .

Van de Giessen A. W., Tilburg J. J., Ritmeester W. S., Van der Plas J., 1998. Epidemiol. Infect., **121**, 57-66;

Remerciements

Aux industriels partenaires de l'étude ; à A. Rossero (IE INRA), 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).

SESSION 4

Hygiène et Sécurité sanitaire

Animateurs : Jean-Pierre Frencia (Adiv Association)
et Philippe Fravalo (Afssa-Ploufragan)

Posters

APPROCHE PROTEOMIQUE POUR LA CARACTERISATION DE SOUCHES DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* : RECHERCHE DE MARQUEURS DE RISQUE

DUMAS E.[1], MEUNIER B.[2], BERDAGUE J.L.[3], CHAMBON C.[4], HEBRAUD M.[1,4]

UR Microbiologie - Equipe QuaSA[1], URH - Equipe C2M[2], UR QuaPA – Equipe T2A[3] et Plate-Forme Protéomique[4], INRA site de Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France

Introduction

L. monocytogenes est une bactérie ubiquitaire qui peut être trouvée dans le sol, les réseaux hydrauliques, sur les végétaux ainsi que dans l'environnement industriel des ateliers de production alimentaire. Cette bactérie peut également être présente dans le tractus intestinal des animaux et de l'homme sous forme de portage asymptomatique. Elle est l'agent causal de la listériose, une infection grave d'origine alimentaire affectant essentiellement les personnes immunodéprimées, les personnes âgées et les femmes enceintes. Bien que la fréquence des cas de listériose ait diminué ces dernières années grâce aux efforts des industriels de la filière alimentaire et la mise en place d'un système de surveillance efficace, le risque sanitaire reste important. Ainsi, au cours des années 1999 à 2003, 200 à 270 cas ont été signalés en France (InVS) avec un taux de mortalité de 20 à 30%. Le risque sanitaire lié à *L. monocytogenes* concerne des secteurs variés de l'industrie agroalimentaire avec, par exemple, une incidence de 3,0% à 14,8% dans les produits de charcuterie (Salvat *et al*., 1997) et de 1,2% dans la filière lait (Farber *et al*., 1996). Par ailleurs, les conséquences économiques liées à une crise alimentaire de listériose peuvent être dramatiques. En effet, outre le manque à gagner direct dû au retrait et à la destruction du produit incriminé, les pertes indirectes liées à la détérioration de l'image de marque du produit peuvent être fatales à l'entreprise.

Il existe une grande variabilité génétique des souches de *L. monocytogenes* (environ 6% de gènes spécifiques du sérovar et environ 3% de la souche). Dans l'état actuel des connaissances et d'un point de vue de santé publique, toutes les souches de *L. monocytogenes* sont considérées comme potentiellement pathogènes pour l'homme. En effet, les gènes de virulence connus à ce jour sont présents dans les 13 sérovars de l'espèce. Cependant, la littérature montre que la virulence expérimentale est très variable selon les souches de *L. monocytogenes*, ce qui laisserait penser qu'une biodiversité importante existe chez celles rencontrées dans le secteur alimentaire, notamment pour leur pouvoir pathogène, et que seules certaines d'entre elles constituent un risque sanitaire réel. De plus, il est étonnant de constater que 98% des cas de listériose humaine ne sont dus qu'aux sérovars 1/2a, 1/2b et 4b et que le sérovar 4b, prépondérant dans les cas épidémiques de listériose, est beaucoup moins fréquemment isolé que les deux autres sérovars dans les aliments ou dans l'environnement industriel.

Dans un contexte d'analyse et de gestion du risque sanitaire lié aux aliments, il est indispensable de mieux caractériser et donc hiérarchiser les risques sanitaires auxquels s'exposent les consommateurs vis-à-vis de produits alimentaires faiblement contaminés. Un projet de recherche, réunissant plusieurs laboratoires et des approches complémentaires de génomique, post-génomique et divers tests de virulence, vise à identifier des gènes (ou protéines) marqueurs qui pourraient être utilisés pour mieux évaluer et hiérarchiser les risques sanitaires auxquels s'exposent les consommateurs vis-à-vis de produits alimentaires faiblement contaminés. Dans le cadre de ce projet, nous avons comparé et caractérisé les sous-protéomes (protéines cytosolubles et sécrétées) de 12 souches de différents sérovars et différentes origines (épidémiques, portage asymptomatique et environnement agro-alimentaire) par électrophorèse bidimensionnelle (EBD).

Matériel et Méthodes

Les 12 souches de *L. monocytogenes* sont cultivées en milieu MCDB202 (Chavant *et al*., 2002) à 37°C sous agitation (150 rpm) jusqu'en fin de phase exponentielle de croissance (DO_{600} = 0.9). Le culot cellulaire est séparé du surnageant par centrifugation. Les protéines sécrétées sont précipitées au TCA à partir du surnageant. Après lavage, les cellules bactériennes sont cassées aux ultrasons afin d'extraire les protéines cytosolubles (intracellulaires). Les protéines cytosolubles et sécrétées sont ensuite remises en solution dans un tampon d'isoélectrofocalisation (IEF) contenant de l'urée 7 M, thiourée 2 M et du CHAPS 4% (w/v).

Les protéines sont séparées par EBD en utilisant, lors de la première dimension (ou IEF), des bandelettes d'IPG à pH 3-10 non linéaire pour les protéines sécrétées (sécrétome) ou à pH 4-7 pour les protéines cytosolubles. La deuxième dimension (SDS-PAGE) est effectuée avec des gels de polyacrylamide à 12.5%. Après séparation, les protéines sont colorées au nitrate d'argent puis les gels sont scannés et analysés à l'aide du logiciel Image Master 2D Platinium.

Les spots protéiques d'intérêt sont découpés dans les gels d'EBD puis hydrolysés à la trypsine. La nature des spots est identifiée par comparaison avec une banque de données de gels d'EBD de référence (Folio *et al*., 2004; http://www2.clermont.inra.fr/proteome) ou par leur empreinte peptidique massique obtenue par spectrométrie de masse MALDI-TOF et interrogation des banques de données avec le logiciel Mascot.

Pour chacune des 12 souches, 5 gels d'EBD des protéines cytosolubles et des sécrétomes ont été sélectionnés. Les spots de chacun des 60 gels ont été appariés avec ceux d'un gel de référence (1 par sous-protéome), ce qui a permis d'obtenir une matrice de données pour chaque sous-protéome comprenant la valeur de chaque spot (% de son volume par rapport au volume total des spots) pour chaque gel. A partir des deux matrices de données, deux nouvelles matrices

ont été générées en ne retenant que les spots protéiques présents ou absents "fiables", c'est-à-dire dans au moins 4 des 5 gels d'EBD pour chaque souche. La clusterisation hiérarchique des gels et des protéines a été réalisée grâce au logiciel Permut Matrix. Afin de trouver des marqueurs discriminants dans les deux sous-protéomes, la variation relative estimée (VRE) de chaque spot a été calculée pour les différents facteurs considérés (sérovar, origine). Une analyse factorielle discriminante a été réalisée à partir des spots protéiques possédant les VRE les plus importantes.

Résultats et Discussion

Les protéomes des protéines intracellulaires et sécrétées, sont séparés par EBD puis comparés avec l'aide d'un logiciel d'analyse d'image. Ainsi, pour chaque sous-protéome, les profils protéiques de 60 gels (12 souches x 5 gels) ont été comparés, afin de trouver les spots protéiques présentant une différence d'abondance. Le "matching" de l'ensemble des gels a permis de générer une matrice de 650 spots pour les protéines cytosolubles et 614 spots pour le sécrétome. Ces deux matrices de données ont été utilisées pour effectuer une clusterisation hiérarchique des 12 souches. Comme le montre la Fig. 1, les différences d'expression des protéines entre les souches sont corrélées avec l'évolution des sous-groupes au sein de l'espèce *L. monocytogenes* puisque les souches de sérovar 4b et 1/2b (linéage II) clustérisent indépendamment des souches 1/2a (linéage I). Il apparaît que des clusters de protéines sont spécifiques à chaque linéage. La clusterisation laisse également apparaître des différences sur des petits groupes de protéines qui discriminent plus finement les sérovars ou même l'origine au sein des souches 4b. Les mêmes résultats sont obtenus avec la matrice des protéines sécrétées. Afin de trouver des marqueurs discriminants du sérovar, de la virulence ou de l'origine des souches, la variation relative estimée (VRE) de chaque spot a été calculée pour ces différents facteurs (Fig. 2A). Les spots présentant les VRE les plus élevées pour chaque facteur ont servis à réaliser une analyse factorielle discriminante (AFD). La Fig. 2B montre une excellente discrimination des 3 sérovars étudiés sur la base de 23 spots sélectionnés, cette discrimination étant toujours très pertinente en ne conservant que les 5 spots avec les plus fortes VRE. Par contre, notre étude montre qu'il est plus difficile, dans nos conditions expérimentales de discriminer le niveau de virulence et l'origine de l'ensemble des souches considérées aussi bien avec le protéome intracellulaire qu'avec le sécrétome. L'analyse statistique laisse apparaître quelques spots potentiellement intéressant pour le facteur virulence (VRE > 50%) ou le facteur origine (VRE > 40%).

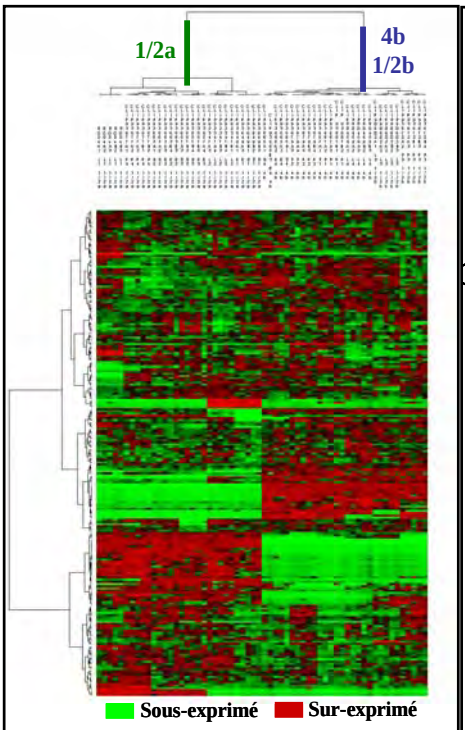


Fig. 1. Clusterisation hiérarchique des 650 spots de protéines cytosolubles dans les 12 souches de *L. monocytogenes* (5 gels/ souche).

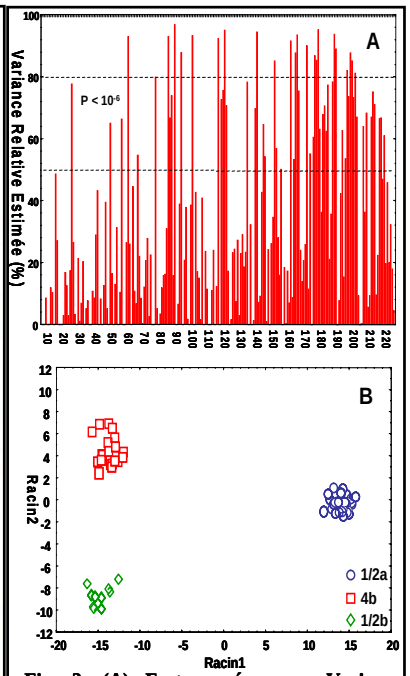


Fig. 2. (A) Facteur sérovar : Variance Relative Estimée (%) ; (B) Discrimination (AFD) des sérovars des 12 souches (5 gels par souche) à partir de 23 spots séléctionnés selon leur VRE (> 80%).

Sur la base de ces analyses statistiques, nous avons sélectionné et identifié par spectrométrie de masse MALDI-TOF des spots protéiques qui peuvent être des marqueurs potentiels d'intérêt pour l'évaluation du risque à *L. monocytogenes*. La pertinence de ces spots d'intérêt est actuellement étudiée en prenant en considération (i) leur niveau d'expression, (ii) leur localisation dans le gel d'EBD, (iii) leur état (protéine modifiée post-traductionnellement), (iv) la fonction biologique de la protéine lorsqu'elle est connue et (v) si l'absence de la protéine chez certaines souches est due à l'absence du gène ou à sa non expression. Cette analyse devrait permettre de valider de nouveaux marqueurs de risque qui viendront augmenter et/ou mieux cibler l'information portée par la puce à ADN de typage déjà existante et ainsi améliorer la valeur diagnostic de cet outil.

L'ensemble des résultats obtenus par les différents partenaires de ce programme de recherche seront réunis dans une base de données et devraient contribuer à une meilleure hiérarchisation et gestion du risque sanitaire auquel peuvent être exposés les consommateurs.

Références bibliographiques

Chavant, P., Martinie, B., Meylheuc, T., Bellon-Fontaine, M.-N. and Hébraud, M. 2002. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68** : 728-737.

Farber, J.M., Ross; W.H., and Harwig, J. 1996. *Int. J. Food Microbiol.*, **51** : 145-156.

Folio, P., Chavant, P., Chafsey, I., Belkorchia, A., Chambon, C. and Hébraud, M. 2004. *Proteomics*, **4** : 3187-3201.

Salvat, G., Coppen, P., Allo, J.C., Fenner, S., Laisney, M.J., Toquin, M.T., Humbert, F., and Colin, P. 1997. *Br. Poult. Sci.*, 5 : 489-498.

PHYSIOLOGIE DE LA CROISSANCE EN BIOFILM DE *STAPHYLOCOCCUS XYLOSUS* PAR UNE APPROCHE PROTEOMIQUE

PLANCHON[1] S., LEROY S.[1], CHAMBON[2] C., CHAFSEY[1] I., HÉBRAUD[1, 2*] M., TALON[1] R.

[1]Unité Microbiologie, [2]Plate Forme protéomique, Unité Qualité des Produits Animaux, INRA, Centre Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France.

Introduction

Staphylococcus xylosus est un coque à Gram positif fréquemment isolé de la peau des mammifères et occasionnellement de la peau humaine. Ainsi cette espèce est fréquemment isolée dans l'environnement des ateliers de transformation en agroalimentaire et des produits carnés et laitiers. Elle est d'ailleurs utilisée comme ferment dans la fabrication de ces produits ou elle contribue à leurs qualités sensorielles. Sa capacité à coloniser la peau et l'environnement est certainement due à son aptitude à former des biofilms. En effet, nous avons montré que *S. xylosus* colonise divers supports utilisés en agroalimentaire. Les gènes *icaA* et *bap*, impliqués dans la formation de biofilm chez *S. epidermidis* et *S. aureus*, ont été recherchés mais seul le gène *bap* a été mis en évidence. Comme les protéines de surface jouent un rôle clé dans la formation des biofilms, nous avons développé une méthode d'analyse des protéines pariétales et membranaires de *S. xylosus* par une approche protéomique.

Matériels et Méthodes

La souche *S. xylosus* C2a, choisie comme modèle d'étude, est mise en culture pendant 48 h à 30°C, sous agitation à 150 rpm dans du bouillon de soja tryptique supplémenté avec de l'extrait de levure (0,6 %) et du NaCl (2 %).

En parallèle, une culture en biofilm est réalisée en mettant en contact la suspension bactérienne de *S. xylosus* avec des disques d'acier et incubée dans le milieu ci-dessus en condition statique pendant 48 h à 30°C.

Les protéines pariétales ont été isolées à partir d'un traitement des cellules à la lysotaphine et solubilisées dans un tampon contenant de l'ASB14.

Les protéines membranaires ont été isolées à partir d'une lyse mécanique des protoplastes, suivie d'une ultracentrifugation, d'une délipidation et d'une solubilisation dans le même tampon.

Les protéines cytoplasmiques sont recueillies à partir du surnageant d'ultracentrifugation, précipitées à l'acétone puis solubilisées dans un tampon contenant du CHAPS.

Les différentes protéines sont séparées en électrophorèse bidimensionnelle puis identifiées par spectrométrie de masse MALDI-TOF

Résultats et discussion

Les protéines de surface

Cent une protéines ont été identifiées dont 34 dans la fraction pariétale et 67 dans la fraction membranaire. Parmi ces protéines, seules 9 étaient présentes dans les deux fractions. Elles comprenaient 2 protéines de paroi, 3 avec un domaine transmembranaire et 4 avec une fonction cytoplasmique mais retrouvées en surface.

Dans la fraction pariétale, 64 spots protéiques ont été identifiés par spectrométrie de masse. Ces 64 spots représentent en fait 34 protéines car certaines d'entre elles sont présentes sous plusieurs isoformes. Parmi ces 34 protéines, 8 protéines possèdent une séquence signal nécessaire à leur exportation ainsi qu'une localisation prédite en surface, 8 protéines possèdent des domaines transmembranaires, 3 protéines n'ont pas de peptide signal ni de domaine transmembranaire mais ont une localisation en surface et 15 protéines ont une fonction cytoplasmique mais 9 ont déjà été décrites à la surface bactérienne par certains auteurs.

Dans la fraction membranaire, 113 spots protéiques ont été identifiés par spectrométrie de masse. Ces 113 spots représentent 67 protéines différentes. Parmi ces 67 protéines, 7 protéines possèdent une séquence signal nécessaire à leur exportation ainsi qu'une localisation prédite en surface, 18 protéines possèdent des domaines transmembranaires, 7 protéines n'ont pas de peptide signal ni de domaine transmembranaire mais ont une localisation en surface, 8 protéines interagissent avec d'autres composants de la membrane, 27 protéines ont une fonction cytoplasmique mais 7 ont déjà été décrites à la surface bactérienne par certains auteurs.

Physiologie en biofilm

La souche S. xylosus C2a forme un biofilm dense composé de multicouches cellulaires agrégées par une matrice amorphe et séparées par des espaces intercellulaires (Figure 1).

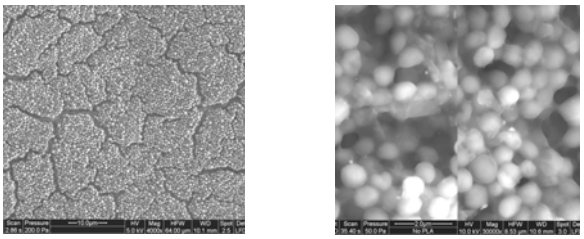


Figure 1 : Observation de *S. xylosus* en biofilm par microscopie électronique environnementale

La comparaison de la physiologie de la croissance en modes biofilm et planctonique de *S. xylosus* C2a a révélé une expression différentielle de 115 protéines dont 74 sont surexprimées et 41 sous exprimées en mode biofilm.
Parmi les 74 protéines surexprimées, 18 se trouvent dans la fraction pariétale, 33 dans la fraction membranaire, 28 dans la fraction intracellulaire et 5 de ces protéines sont communes aux différentes fractions. Parmi les 41 protéines sous exprimées, 6 sont dans la fraction pariétale, 26 dans la fraction membranaire, 12 dans la fraction cytoplasmique et 3 protéines communes aux différentes fractions.
Les protéines surexprimées appartiennent à différentes catégories dont 4 sont majoritaires (Figure2). La catégorie 5 intitulée « Gènes impliqués dans la production d'énergie » représente 20% des protéines surexprimées. Ces protéines appartiennent au cycle du citrate qui génère des cofacteurs et de l'énergie, les cofacteurs sont ensuite régénérés via des réactions d'oxydoréduction mettant en jeu des oxydoréductases. La catégorie 11 intitulée « Gènes impliqués dans le métabolisme et le transport des acides aminés » représente 16% des protéines surexprimées. Les catégories 15 et 6 intitulées « Gènes impliqués dans la traduction » et « Gènes impliqués dans la modification post-traductionnelle et le turn-over des protéines » représentent 11% et 10% respectivement des protéines surexprimées.
L'ensemble de ces données témoigne d'une activité métabolique importante des cellules en mode sessile après 48 h de croissance.

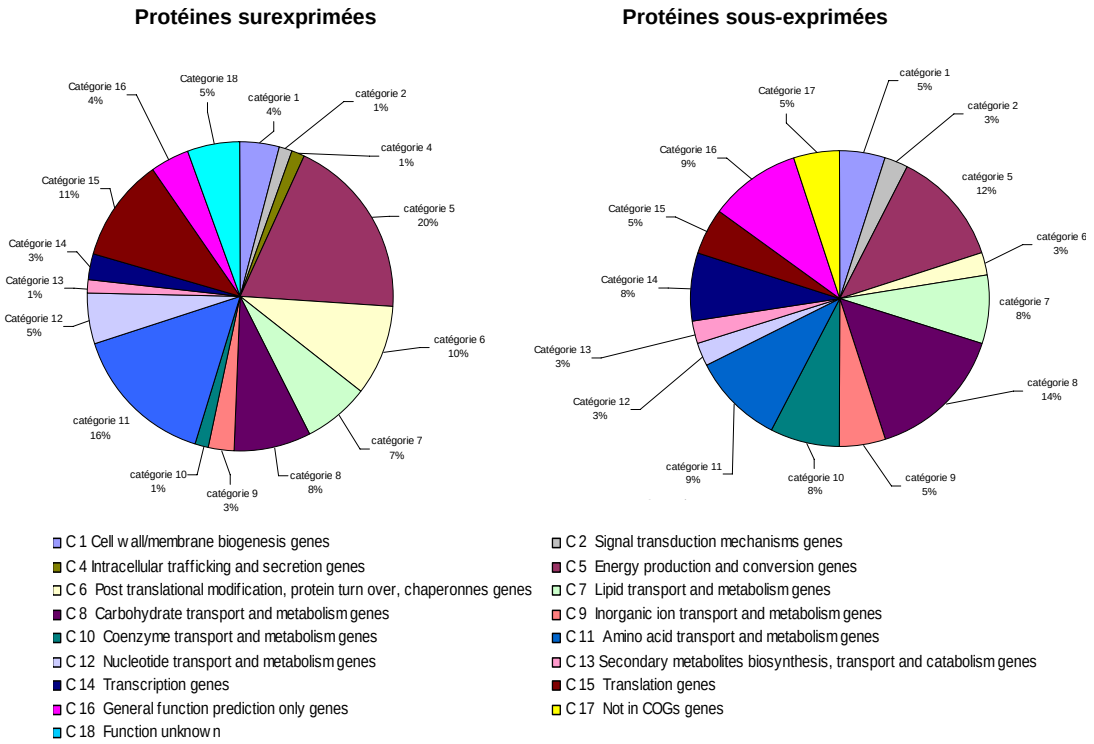


Figure 2 : Protéines surexprimées et sous exprimées après 48 h de croissance en biofilm de *S. xylosus*

OPTIMISATION DU CONDITIONNEMENT DES ABATS ET ETUDE DE LA CROISSANCE BACTERIENNE EN VUE DE VALIDER LA DLC DES ABATS

COPPET V, CHRISTIEANS S.
ADIV, 2 rue Chappe, 63039 Clermont Ferrand cedex 2 ;

Introduction

La présentation des produits tripiers en UVCI dans la grande distribution s'est fortement développée ces dernières années. Ce mode de conditionnement, allié éventuellement à une atmosphère modifiée, laisse les produits visibles par le consommateur au moment de l'achat. L'aspect des produits et la durée de vie résiduelle le guident dans son choix. Or, les produits tripiers se conservent naturellement peu de temps du fait de leur faible stabilité microbiologique. Il ressort de différentes études que les abats sont contaminés très tôt à l'abattoir, puis cette contamination ne cesse de s'accentuer tout au long de leur collecte et au cours de traitements et opérations ultérieures. Face à ce risque de contamination, et face à un caractère fragile des produits, il semble important de s'affranchir de toutes les altérations dues à un conditionnement défavorable. L'utilisation d'atmosphères modifiées semble une solution pour allonger leur durée de vie. Mais la composition de celles employées pour les découpes de viande ne semble pas convenir à chaque catégorie de produit tripier car elle altère leur aspect, voire leur odeur à l'ouverture du conditionnement. Compte tenu de ce contexte, cette étude a eu pour premier objectif d'optimiser la composition d'un mélange gazeux spécifique pour trois catégories d'abats : le foie de veau, le ris de veau et les rognons de bœuf, et dans un second temps, d'évaluer la durée de vie maximale de ces produits.

Matériel et méthodes

Les produits ont été prélevés le jour de l'abattage, et ont été acheminés au laboratoire sous couvert de froid le même jour ; tranchés et conditionnés sous atmosphère modifiée le lendemain. Le conditionnement sous film étirable est considéré comme le témoin. Les mélanges gazeux comparés sont les suivants : 80%O_2 20%CO_2 ; 70%N_2 30%CO_2 ; 70%O_2 30%CO_2 ; 80%N_2 20%CO_2 et 100%CO_2. Les différents produits ont été stockés selon la norme NF V01-003 (1/3 du temps à +3°C, 2/3 du temps à +8°C). Au cours de l'étude, 5 temps de conservation ont été choisis : J_0, conditionnement initial ; J_7, 1/3 du temps ; J_{14}, 2/3 du temps ; J_{21}, DLC du produit ; J_{28} (point qui permet d'obtenir des informations sur les différentes phases de croissance bactérienne). D'un point de vue microbiologiques, la flore totale, les *Pseudomonas*, les *Entérobactéries*, la flore lactique et *Brochothrix thermosphacta* ont été dénombrés. Parallèlement, un suivi de l'acidification, une appréciation de l'odeur, des mesures de couleur, des pertes de poids, une évaluation visuelle de l'aspect et une analyse sensorielle (à J_3 et à J_8) ont également été réalisés.
Afin d'obtenir des résultats statistiquement exploitables, 3 répétitions ont été réalisées pour chaque conditionnement. Au total, pour répondre au premier objectif, 90 échantillons par abats ont été analysés.
Concernant l'évaluation de la durée de vie des abats, le modèle de Zwietering *et al*. (1990) a été utilisé afin d'ajuster la courbe de croissance bactérienne du germe d'altération *Brochothrix thermosphacta* (exemple fig.1)et du germe pathogène *Listeria monocytogenes* (exemple fig.2) en fonction de la contamination initiale des produits, des conditions de conservation et des conditionnements. Au total, 72 échantillons ont permis d'évaluer la durée de vie des trois abats en fonction du mélange gazeux employé.

Résultats et discussion

Mélanges gazeux	Flores microbiennes[1]	Défauts (décoloration, odeur, exsudats)[2]	Déformation barquettes[3]	Dégustation[4]	Durée de vie calculée [5]		*Conclusion* : durée de vie estimée [6]
					*B.therm**	*L.mono**	
A base d'oxygène	Satisfaisant jusqu'à J28	J7	-	/	3 jours	>21jours	<3jours
A base d'azote	Satisfaisant jusqu'à J28	J14	-	J3	-	5 jours	<3jours
100% CO_2	Satisfaisant jusqu'à J28	Chronologie entre J7 et J21	-	J8	-	-	<8jours

Tableau 1 : Synthèse des résultats obtenus pour la matrice « foie de veau ».
(* : *Brochothrix thermosphacta* et *Listeria monocytogenes* ; - : pas de croissance bactérienne/pas de déformation ; / : dégustation non réalisée)

Mélanges gazeux	Flores microbiennes[1]	Défauts (décoloration, odeur, exsudats)[2]	Déformation barquettes[3]	Dégustation[4]	Durée de vie calculée [5]		*Conclusion* : durée de vie estimée [6]
					*B.therm**	*L.mono**	
A base d'oxygène	Satisfaisant jusqu'à J21	Dès J21	Dès J14	-	5 jours	9 jours	<5 jours
A base d'azote	Satisfaisant jusqu'à J21	Dès J7	-	J8	5 jours	11 jours	<5 jours
100% CO_2	Satisfaisant jusqu'à J28	J28	J2	J8	12 jours	12 jours	<2 jours

Tableau 2 : Synthèse des résultats obtenus pour la matrice « rognon de bœuf ».
(* : *Brochothrix thermosphacta* et *Listeria monocytogenes* ; - : pas de croissance bactérienne/pas de déformation ; / : dégustation non réalisée)

Mélanges gazeux	Flores microbiennes[1]	Défauts (décoloration, odeur, exsudats)[2]	Déformation barquettes[3]	Dégustation[4]	Durée de vie calculée [5]		*Conclusion* : durée de vie estimée [6]
					*B.therm**	*L.mono**	
A base d'oxygène	Acceptable dès J14	Dès J7	Dès J14	-	2 jours	5 jours	<2 jours
A base d'azote	Acceptable dès J21	Dès J7	Dès J7	J8	6 jours	5 jours	<5 jours
100% CO_2	Satisfaisant jusqu'à J28	Dès J10	Dès J2	J8	7 jours	16 jours	<2 jours

Tableau 3 : Synthèse des résultats obtenus pour la matrice « ris de veau ».
(* : *Brochothrix thermosphacta* et *Listeria monocytogenes* ; - : pas de croissance bactérienne/pas de déformation ; / : dégustation non réalisée).

Les trois tableaux suivants synthétisent l'ensemble des données obtenues pour chaque abat :

1. « flores microbiennes » : déclaration de la conformité bactériologique pour l'ensemble des flores en fonction des critères du CNERNA ;
2. « défauts » : jour d'apparition d'un ou de plusieurs défauts (odeurs, exsudats, décoloration) ;
3. « déformation des barquettes » : jour d'apparition de la déformation des barquettes ;
4. « dégustation » : appréciation du jury ;
5. « durée de vie estimée » : la durée de vie des produits a été établie sur l'hypothèse que la contamination bactérienne initiale des abats est moyenne, également en se plaçant dans le cas d'une chaîne du froid mal maîtrisée, en fonction des modèles établis pour les deux flores (*B. thermosphacta* et *L. monocytogenes*), durée de vie estimée selon l'ajustement des courbes de croissance. La référence choisie est fonction de la durée de vie estimée la plus courte ;
6. « conclusion » : la durée de vie est estimée en fonction de la synthèse de l'ensemble des données.

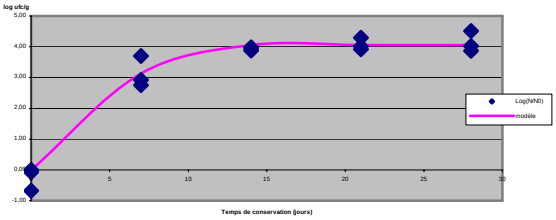


figure 1.

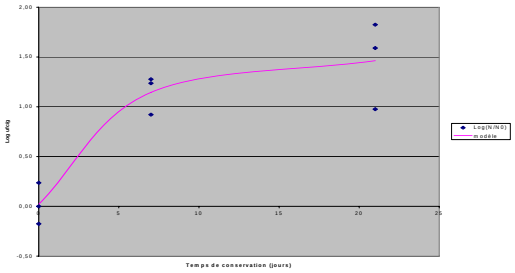


figure 2.

Exemples d'ajustement de courbe de croissance, pour le ris de veau, *B. thermosphacta*, sous 70%$N_2$30%CO_2 (fig.1)et pour le foie de veau, *L monocytogenes*, sous 70%N_2 30%CO_2 (fig.2).

Conclusion

Les résultats obtenus pour l'ensemble des trois abats étudiées permettent de donner à titre indicatif une durée de vie maximale de ces produits. Les industriels de la triperie pourront exploiter ces résultats afin de définir lequel des différents mélanges gazeux leur semble le plus approprié en fonction de leurs méthodes de travail.

D'un point de vue bactériologique, les résultats sont dans l'ensemble relativement satisfaisants. Cette synthèse tend à conclure sur le fait que le conditionnement sous 100%CO_2 semble le plus approprié pour la conservation de l'ensemble des trois abats d'un point de vue bactériologique et gustatif. Le seul point négatif réside dans l'apparition d'une déformation des barquettes. Les mélanges gazeux à base d'azote donnent également de bons résultats. Quant aux mélanges gazeux à base d'oxygène, les défauts apparaissent assez tôt (J_7 pour les foies de veau et les ris de veau).

Références bibliographiques

1) Zwietering MH, Jongenburger I, Rombouts FM and Van't Riet K. (1990) Modeling of the Bacterial Growth Curve. Appl. Environ Microbiol. **56 :**1875-1881.
2) J.L Jouve. 1996. La qualité microbiologique des aliments – Maîtrise et critères. CNERNE CNRS – 2ème édition. 564 pages.

Remerciements

Ce programme a été financé par l'Interbev et l'Office de l'élevage.

ALTERATIONS MICROBIENNES LIEES AUX BACTERIES LACTIQUES HETEROFERMENTAIRES DANS LE JAMBON CUIT SUPERIEUR

COPPET V, CHRISTIEANS S.
ADIV, 2 rue Chappe, 63039 Clermont Ferrand cedex 2 ;

Introduction

Compte tenu de l'évolution croissante et constante de la consommation de jambon cuit en France (+4% entre 1999 et 2003), les industriels de la charcuterie souhaitent maîtriser la qualité de leurs produits et s'affranchir de tous risques d'apparition de défauts susceptibles d'entraîner des pertes économiques et/ou de confiance de la part des consommateurs. C'est pourquoi un code des usages définissant les bonnes pratiques de fabrication des produits de charcuterie a été rédigé en concertation avec un large panel de fabricants industriels et d'artisans, en plus du cadre réglementaire strict fixant les règles d'hygiène pour les fabricants et pour les distributeurs.
Cependant, malgré cette réglementation rigoureuse, des altérations sur le produit peuvent apparaître de façon sporadique. En effet, certains industriels constatent :
- une présence de mauvaises odeurs dans la masse du produit,
- l'apparition de mucus filamenteux sur le produit,
- un gonflement des barquettes sous atmosphère modifiée pour le jambon cuit prétranché.

Ces observations associées à des analyses bactériologiques sur les produits à défauts ont permis de conclure à une origine microbienne du phénomène.
L'objectif de cette étude, en partenariat avec sept entreprises, a été d'identifier les germes responsables des défauts rencontrés par les industriels, notamment la flore lactique hétérofermentaire et de déterminer s'il existe une diversité des espèces microbiennes mises en cause dans ces altérations.

Matériel et méthodes

Les prélèvements ont été organisés en deux vagues, au printemps et à l'automne 2003.
Chaque entreprise partenaire a expédié 5 sachets de jambon cuit supérieur tranché dès leur fabrication et sous conditions réfrigérées. Dès réception et jusqu'à leur DLC, les produits ont été stockés à 8°C, dans le but de faire apparaître les défauts et d'analyser la flore lactique hétérofermentaire (*Lactobacillus hétérofermentaires* et *Leuconostoc*). La recherche et les dénombrements ont été réalisés sur une gélose Man, Rogosa et Sharpe (MRS) (NF V08-030). Après isolement des différentes colonies d'aspects morphologiques différents (taille, couleur, surface, profondeur…), les tests d'hétérofermentation ont été effectués sur 5 colonies par produit pour distinguer les bactéries lactiques homofermentaires des bactéries lactiques hétérofermentaires. Par définition, l'hétérofermentation est la capacité des bactéries lactiques à produire des molécules différentes du lactate telles que le CO_2, l'acétate, l'éthanol… à partir du sucre. Les souches qui ont donné un résultat positif à ces observations ont été retenues. Ces dernières ont été repiquées sur milieu MRS afin de s'assurer de la pureté des cultures pour ensuite constituer une échantillothèque, la conservation des isolats a été effectuée à –20°C avant leur analyse moléculaire.
Le typage moléculaire a été réalisé par REP-PCR (Repetitive Extragenic Palindromique Polymerase Chain Reaction) en présence d'amorces consensuelles, homologues d'éléments répétés des génomes. Les empreintes ont été comparées par analyse bio informatique. Ainsi, 267 empreintes ont été obtenues et comparées en utilisant l'algorithme UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages), associé au coefficient de Pearson. Ces isolats à identifier ont été sélectionnés selon un seuil de 80% d'homologie entre les empreintes. Puis les identifications s'opèrent par séquençage du gène codant pour l'ARN ribosomique 16S avec une comparaison des séquences obtenues aux banques de données internationales. Au total, 189 identifications ont été réalisées.

Résultats et discussion

D'un point de vue visuel et aspect des produits, les conditions de stockage définies précédemment sont synonymes de conditions accélérées de vieillissement.
Ce mode de stockage a permis d'observer une chronologie dans l'apparition des altérations : une exsudation, des reflets roses, verts ou nacrés, un gonflement des sachets, un jus clair, et enfin des tâches blanches en surface du produit.
Ces défauts recensés dans cette étude présentent des similitudes avec les accidents de fabrication et/ou les produits altérés couramment reçus dans les laboratoires d'analyses. Bien que les conditionnements sous-vide ou sous atmosphère modifiée soient communément utilisés pour permettre une meilleure durée de vie des produits frais à base de viande (1), ils permettent néanmoins le développement de microorganismes qui peuvent être à l'origine de défauts. Le nombre et la nature des espèces lactiques isolées des produits à défauts sont variables. La contamination indésirable peut être liée à une seule espèce bactérienne mais dans la plupart des cas, un mélange de *Lactobacillus spp* et de *Leuconostoc spp* est retrouvé. Cette diversité des bactéries, isolées des produits altérés, a été confirmée par plusieurs travaux (2, 3 et 4).
Dans cette étude, dès l'apparition des défauts, la flore lactique a été dénombrée sur milieu sélectif. Au total, 250 analyses ont été effectuées pour la première période de prélèvements et 161 pour la seconde période.

Les analyses effectuées après les deux campagnes de prélèvements, printemps et automne, montrent une contamination homogène en flore lactique pour chaque entreprise. Le facteur saison ne semble pas jouer un rôle sur le dénombrement de cette flore, car à DLC des produits et quelle que soit la période de prélèvement, la concentration en flore lactique varient entre 10^7 et 10^8 germes par gramme de jambon stockés à +8°C.
Cette phase de dénombrement et d'isolement a permis de confirmer que la flore lactique hétérofermentaire se trouve être majoritaire dans ce type de produit, si les conditions de stockage et de conservation ne sont pas respectées.
La seconde partie de l'étude a montré que la flore majoritaire, toutes entreprises et toutes saisons confondues, est représentée par des souches appartenant au genre *Leuconostoc* (70% des souches isolées). Les *Lactobacillus* représentent moins de 10% des souches identifiées et 18.9% s'apparentent à d'autres espèces non identifiées. Des résultats similaires ont été observés par d'autres auteurs (5 et 6). Parmi les *Leuconostoc* isolés, deux espèces ont été identifiées comme étant les espèces d'altération majoritaires dans les jambons analysés : il s'agit de *Leuconostoc carnosum* (49%) et de *Leuconostoc mesenteroïdes* (18%).
Ces proportions vont dans le même sens que ceux obtenus par Cai *et al*. (6). Ainsi, dans une étude réalisée par Björkroth *et al.* (5), *Leuconsotoc carnosum* a également été identifié comme étant le germe responsable des altérations des jambons cuits, conditionnés, sous vide.
Ces mêmes auteurs se sont intéressés, comme dans notre étude, à la contamination des entreprises et ont pu constater que *Leuconostoc carnosum* de type A est la bactérie dominante de la microflore des matières premières de porc. Par ailleurs, les *Leuconostoc spp* sont des microorganismes d'altération spécifiques des produits transformés à base de viande (bœuf, porc, volaille) ou de poissons. Les études précédemment citées ainsi que les résultats obtenus au cours de ce programme ont conclu à une contamination du jambon cuit, donc du porc, par *Leuconostoc carnosum* et *Leuconostoc gelidum* taxonomiquement très proches.
Le typage moléculaire a permis de mettre en évidence une conservation des séquences « répétées » au sein d'une même espèce avec cependant des variations infra-spécifiques.
Ainsi la comparaison des séquences obtenues aux banques de données internationales a montré une diversité inter-spécifique restreinte où les isolats appartiennent pour 49% à l'espèce *Leuconostoc carnosum* et pour 18% à l'espèce *Leuconostoc mesenteroïdes*.

Conclusion et perspectives

Cette étude nous a permis de confirmer le rôle des bactéries lactiques hétérofermentaires dans l'altération du produit et surtout d'identifier les espèces majoritaires impliquées dans l'altération des jambons cuits, *Leuconostoc carnosum* et *Leuconostoc mesenteroides*. A partir de ces identifications, il semblerait intéressant de compléter les résultats obtenus en s'orientant vers l'amont donc vers l'origine de la contamination.

Références bibliographiques

(1) Borch E., Kant-Muermans ML. And Blixt Y. 1996. Bacterial spoilage of meat and cured meat products. Int. J. Food Microbiol. 33:103-120.

(2) Korkeala H., Alanko T., Mäkelä P. And Lindroth S. 1989. Shelf-life of vacuum-packed cooked ring sausages at different chill temperatures. Int. J. Food Microbiol. 9:237-247.

(3) Von Holy A., Cloete T. and Holzapfel W. 1991. Quantification and characterization of microbial population associated with spoiled vacuum-packaged vienne sausages. Food Microbiol. 8:95-104.

(4) Yang R and Ray B. 1994. Prevalence and biological control of bacteriocine-producing psychrtrophic Leuconostoc associated with spoilage of vacuum-packaged processed meats. J. Food Prot. 57:209-217.

(5) Björkroth J., Vandamme P., and Korkeala H. 1998. Identification and characterization of Leuconostoc carnosum associated with production and spoilage of vacuum-packaged, sliced, cooked ham. Appl. Environ. Microbiol. 64 :3313-3319.

(6) Cai Y., Benno Y., Takeda A. Yoshida T., Itaya T. and Nakasa T. 1998. Characterization of Leuconostoc species isolated from vacuum-packaged ham. J. Gen. Appl. Microbiol. 44:153-159.

Remerciements
Ce programme a été financé par l'Office de l'élevage et 7 industriels de la charcuterie partenaires du projet.

ACTIVITES ANTI-BACTERIENNES DES BACTERIES LACTIQUES ISOLEES D'ATELIERS FERMIERS DE SALAISON

YAAKOUBI K., AMMOR S., HAYDERSAH J. & CHEVALLIER I.
Unité de Recherches "Typicité des Produits Alimentaires",
ENITA Clermont, Site de Marmilhat, F-63370.

Introduction

Les ateliers de salaison constituent des niches écologiques pour tous les micro-organismes qui influencent la qualité des produits. Généralement, pour résoudre les problèmes d'hygiène associés à la présence de germes d'altération ou pathogènes, on utilise des procédures de décontamination drastiques qui éliminent toute la flore microbienne. Cette approche conduit le plus souvent à des pertes importantes de la typicité du produit, voir même à des problèmes de fabrication. Or une partie de la valeur ajoutée d'un produit fermier provient justement de sa spécificité organoleptique, liée à la flore de l'atelier. Afin de préserver la typicité des produits fermiers, une démarche de type écologie microbienne dirigée peut être envisagée. Elle permettrait de préserver la flore technologique, notamment la flore lactique, tout en éliminant les flores néfastes. Une telle approche peut être réalisée en mettant en œuvre des procédures de décontamination sélective. L'autre autre voie proposée est basé sur le concept de « flore barrière » pour la maîtrise de la contamination des surfaces et donc la biopréservation des produits alimentaires produits. Le concept consiste en la colonisation des surfaces par des microorganismes d'intérêt technologique ou ne présentant pas d'effet indésirable. Ces germes doivent être très compétitifs et présenter des activités antimicrobiennes à l'encontre de la flore indésirable.

Matériel et méthodes

Un total de 87 bactéries lactiques (LAB) (36 *Lactobacillus sakei*, 22 *Enterococcus faecium*, 16 *Lactococcus garvieae*, 11 *Vagococcus carniphilus* and 2 *Enterococcus sp.*) isolées d'ateliers fermiers produisant du saucisson sec ont été criblées pour leurs activités antagonistes envers d'autres LAB ou des bactéries pathogènes ou d'altération provenant du même atelier sauf pour *Listeria innocua* (au lieu de *Listeria monocytogenes*) et *Escherichia coli*. La méthode de diffusion dans la gélose à travers des puits (Tagg et Mc Given 1971) a été utilisée pour détecter les souches présentant une activité anti-bactérienne à l'encontre de bactéries témoins indicatrices. La nature des agents anti-microbiens a été étudié selon la méthode de Shillinger et Lücke (1989). Les souches les plus intéressantes ont ensuite été testées en condition de biofilm sur filtre en fibre de verre (Ammor et al 2004).

Résultat et discussion

Parmi les 87 isolats testés, 36 présentaient des activités anti-bactériennes à l'encontre d'une ou plusieurs bactéries témoins. Parmi ces 36 espèces, 33 étaient antagonistes de *L. innocua*, mais seulement 5 *Vc. carniphilus*, 3 *Ec. faecium* et 3 *Lc. garvieae* étaient simultanément antagonistes de *Sc. aureus*. Les 5 *Vc. carniphilus* mentionnés ci-dessus ont également été trouvés comme antagonistes de *H. alvei*, une bactérie d'altération psychrotrophe à Gram-négatif, fréquemment isolée des produits carnés.

Des études plus approfondies portant sur l'ensemble de ces 11 bactéries, ainsi que sur un *Lb. sakei* et un *Enterococcus* spp. présentant une large zone d'inhibition à l'encontre de *L. innocua* ou de *Sc. aureus*, ont été menées en vue de préciser la nature du composé antibactérien produit à l'encontre de *L. innocua* et/ou *Sc. aureus*. L'addition de NaOH (1N) et de catalase a servi à éliminer, respectivement, les effets inhibiteurs des acides organiques et du peroxyde d'hydrogène. La production de bactériocine n'a pas pu être détectée dans les surnageants filtrés. Néanmoins l'application de protéases aux surnageants non filtrés a éliminé l'effet inhibiteur précédemment observé. Enfin, le chauffage à 80°C pendant 10 min des surnageants n'a pas affecté l'activité antibactérienne. En conclusion, ces 13 bactéries lactiques ont été caractérisées comme productrices de substances inhibitrices du genre bactériocine (« bacteriocins-like inhibitory substance » BLIS) à l'encontre de *L. innocua* et/ou de *Sc. aureus*. Par ailleurs, nous avons détecté pour la première fois une BLIS produite par *Vc. carniphilus*. Enfin, une BLIS produite par *Lc. garvieae* active sur *L. innocua* et *Sc. aureus* a également été caractérisée pour la première fois.

Par ailleurs, l'effet antibactérien de ces bactéries lactiques présentant des activités antibactériennes à l'encontre de *L. innocua*, *Sc. aureus* et/ou *H. alvei* a été testée en conditions de biofilms, le mode réel d'attachement des bactéries au niveau des surfaces et des équipements.

Les résultats ont montré qu'en aérobiose et en absence d'une matrice carnée, *Lb. sakei* n'inhibait pas la croissance de *L. innocua*. Par contre les souches d'*Ec. faecium* et de *Vc. carniphilus* inhibaient significativement *L. innocua*. Ces deux espèces sont capables en plus de *L. innocua* d'inhiber la croissance de *Sc. aureus* et/ou *H. alvei* en biofilms. Les taux de réductions pouvaient atteindre 2, 2,7 et 2,4 $\log_{10}$ u.f.c/ml, respectivement, pour *L. innocua*, *Sc. aureus* et *H. alvei*.

Les résultats ont aussi montré que *L. innocua*, *Sc. aureus* et/ou *H. alvei* étaient plus sensibles à la présence de la bactérie lactique productrice de BLIS lorsqu'elles sont cultivées sous forme planctoniques que lorsqu'elles sont cultivées sous forme sessile.

Conclusion

Au cours de notre étude dont le but était de simuler les activités antibactériennes pouvant avoir lieu au sein de l'atelier et de sélectionner des souches pouvant jouer le rôle de flore de barrière, nous avons montré que 13 souches lactiques étaient productrices de bactériocines à l'encontre de *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus* et/ou *Hafnia alvei*. Nous avons décrit pour la première fois une bactériocine produite par *Vc. carniphilus*.

Un total de 5 *Vc. carniphilus*, 3 *Ec. faecium*, 1 *Lb. sakei* et 1 *Enterococcus* sp. ont été testées pour leur effet antibactérien à l'encontre de *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus* et/ou *Hafnia alvei* en conditions de biofilms bi-espèces.

Les résultats obtenus ont montré que les 3 souches de *Vc. carniphilus* présentaient des effets antibactériens plus prononcés que les 2 souches d'*Ec. faecium*. Mais, étant donné le manque d'information sur la signification clinique de *Vc. carniphilus* et considérant que *Ec. faecium* a été préconisé comme ferment dans la production de saucisson sec (Leroy & de Vuyst, 2003), nous suggérons l'utilisation d'une souche d'*Ec. faecium* comme « flore barrière » au niveau des surfaces et des équipements de l'atelier.

Des études plus approfondies doivent être envisagées pour tester le comportement de ces deux souches en atelier et pour évaluer leurs effets sur le produit final. Un soin particulier doit aussi être porté à l'innocuité de la souche ; notamment en vérifiant l'absence du gène *van*A.

D'autres études doivent être menées pour purifier, caractériser et étudier le mode d'action et la cinétique de production des ces BLIS. L'enjeu à long terme, surtout pour l'agro-industrie, est de trouver un moyen naturel de diminuer l'utilisation des conservateurs ou d'augmenter les dates limites de conservation.

INFLUENCE DE LA METHODE DE RECUPERATION, DE LA MATRICE CARNEE ET DE LA SOUCHE SUR LE RENDEMENT DE RECUPERATION DE *CAMPYLOBACTER* SPP. IMPLANTES SUR VIANDE DE PORC

FOSSE J., LAROCHE M., FEDERIGHI M., MAGRAS C.

UMR ENVN - INRA 1014 SECALIM, BP 40706, 44307 NANTES cedex 3

Introduction

Les *Campylobacter* spp. thermotolérants constituent un danger potentiel pour l'homme par la consommation des viandes de porc, au niveau desquelles ils sont fréquemment isolés (Nesbakken *et al.*, 2003, Magras *et al.*, 2006). Néanmoins, du fait d'un portage animal inapparent, ces dangers ne peuvent être identifiés ou suspectés directement par les méthodes macroscopiques classiques de contrôle des carcasses (Fosse et Magras, 2004). En outre, le niveau de contamination des viandes porcines à l'abattoir est particulièrement faible (< 0,58 log UFC / cm^2 ; Magras *et al.*, 2005). Par conséquent, la mise en évidence des campylobacters sur les viandes implique d'utiliser des techniques diagnostiques performantes. Or la détection et la quantification des *Campylobacter* à partir de matrices carnées complexes sont limitées *a priori* par l'étape initiale de récupération. L'analyse des facteurs de variation de la récupération des campylobactéries à partir des matrices carnées est donc majeure. Différentes études de survie montrent que le premier de ces facteurs est la structure même des matrices carnées (Lee *et al.*, 1998 ; Solow *et al.*, 2003 ; Laroche *et al.*, 2004). Le deuxième facteur est la méthode de récupération, c'est-à-dire la méthode de décollement des campylobactéries de la surface de l'échantillon carné analysé. L'objectif de cette étude est d'estimer les taux de récupération des *Campylobacter* implantés sur matrices carnées porcines en fonction de la méthode de récupération utilisée, l'écouvillonnage et le stomachage étant testés.

Matériel et méthodes

Des échantillons de 5 x 5 cm de 2 types de matrices carnées, l'échine et la couenne, provenant du commerce local, ont été inoculés expérimentalement avec 3 souches différentes : la souche de référence *C. coli* CIP 70.81 (P) ; la souche sauvage *C. coli* V55 isolée sur carcasse (A) et la souche de référence *C. jejuni* NCTC 11168 (N), afin de prendre en compte les contaminations croisées. Chaque échantillon a été contaminé avec 0,1 mL d'une solution mère en bouillon BHI ou une de ses dilutions décimales afin d'obtenir des niveaux de contamination variables, puis stockés à 4 °C pendant 18 heures afin de permettre l'implantation des bactéries à la surface de l'échantillon analysé. La récupération des campylobacters implantés a été réalisée : i) par stomachage de l'échantillon dans 10 mL d'eau peptonée pendant 1 minute ; ii) par écouvillonnage à l'aide d'un écouvillon stérile imprégné d'eau peptonée. Tous les écouvillonnages ont été réalisés par un même opérateur. Les suspensions mères obtenues ou leurs dilutions ont été ensemencées en spirale sur des géloses Karmali incubées pendant 48 heures à 42 °C en atmosphère micro-aérobie avant dénombrement. Six répétitions ont été réalisées. Les effectifs étudiés par modalité sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Effectifs par matrice et par souche pour les deux méthodes de récupération (écouvillonnage, stomachage).

Matrice	Couenne				Echine				*Total*
Souches	A	P	N	*Total*	A	P	N	*Total*	
Ecouvillonnage	7	7	7	*21*	8	8	8	*24*	*45*
Stomachage	11	12	12	*35*	15	15	16	*46*	*81*

Le rendement de récupération (R) a été calculé pour chaque échantillon avec la relation : $R = \frac{Nr}{Ni}$

avec Nr : nombre de bactéries récupérées dénombrées et Ni : nombre de bactéries inoculées sur l'échantillon

L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS.

Résultats et discussion

Les taux de contamination varient de 2,5 à plus de 7 log UFC par échantillon. Aucune variation significative du rendement de récupération en fonction du niveau d'inoculation des échantillons n'a été observée. Les rendements de récupération sont plus élevés après stomachage (57 % ou - 0,24 log) qu'après écouvillonnage (24 % ou - 0,62 log), globalement et pour chaque matrice (figure 1A). La différence entre les deux matrices, qui est globalement significative, est liée aux différences observées pour les résultats obtenus par écouvillonnage. Si, globalement, aucun effet souche n'est noté, une forte interaction souche / matrice est observée, la souche N conduisant aux rendements les plus élevés sur couenne et les plus faibles sur viande (figure 1B).

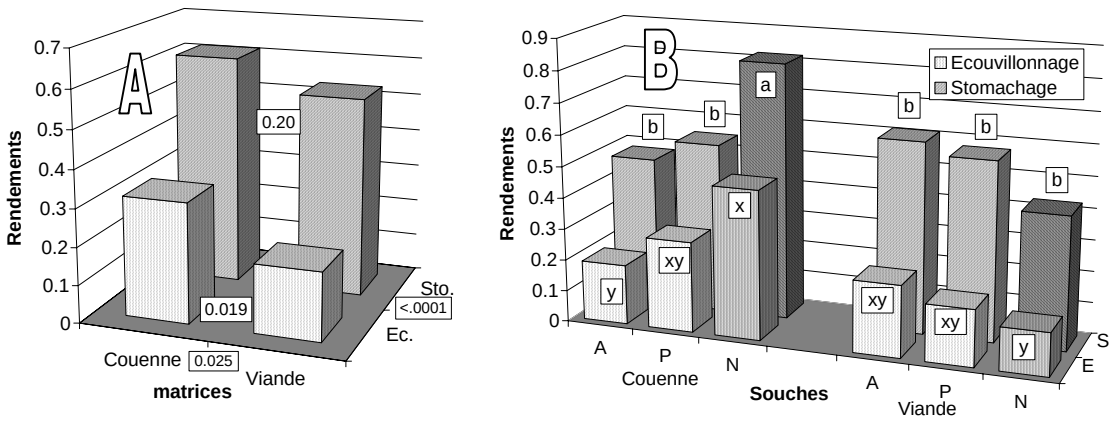


Figure 1 : Rendements de récupération moyens en fonction de la matrice et de la méthode de récupération.
1A : R moyens calculés toutes souches confondues (les probabilités associées sont indiquées) ; 1B : R moyens calculés pour chaque matrice en fonction de la souche (des lettres différentes par méthode correspondent à une différence significative au seuil de 5 % ; test SNK).

La conservation à 4°C pendant 20 h n'ayant pas d'effet significatif sur le dénombrement de *C. coli* et *C. jejuni* inoculés sur de la couenne de porc et de la viande (Bracewell *et al*., 1985), la conservation au froid positif des échantillons inoculés ne peut expliquer la faiblesse des rendements de récupération obtenus. L'implantation des campylobacters sur les matrices carnées et leurs faibles niveaux de récupération pourrait constituer une explication. Le niveau de récupération de la souche *C. jejuni* NCTC 11168 sur couenne est plus élevé que les rendements observés avec *C. coli*. Ces résultats confortent les conclusions de Laroche *et al*. (2004) qui montrent des valeurs de réductions décimales D et des temps de stabilité différents entre les souches *C. coli* CIP 70-81 et *C. jejuni* NCTC 11168 en fonction de la matrice carnée, la couenne, l'échine et l'échine hachée étant testés. La nature de la matrice carnée semblerait donc pouvoir affecter la survie des *Campylobacter* implantés et ainsi expliquer les différences de rendements de récupération observées. La souche de référence *C. jejuni* NCTC 11168 présente des rendements de récupération moyens différents des autres souches étudiées. Cette souche, isolée chez l'homme en 1977, est aujourd'hui l'une des seules dont le génome a été séquencé (Parkhill *et al*., 2000). De fait, elle est très fréquemment utilisée et ses caractéristiques biologiques pourraient avoir évolué. La seconde souche de collection, beaucoup moins utilisée, à un comportement plus voisin de la souche sauvage, mais les différences tendent à la rapprocher de la souche de collection NCTC 11168. Ces différences observées ne peuvent donc être attribuées à un effet d'espèce *C. jejuni / C. coli*.

Conclusions

Les rendements de récupération moyens sont plus élevés et moins dépendants de la matrice par stomachage que par écouvillonnage. Par conséquent, pour récupérer le même nombre de campylobacters sur matrices carnées à niveau de contamination comparable, l'écouvillonnage doit être réalisé sur une surface 2,5 à 3 fois plus importante en appliquant une pression contrôlée. En pratique, l'excision et le stomachage paraissent plus performants et plus fiables. De plus, ce travail montre que le dénombrement de ces bactéries sur matrices carnées conduit à une sous-estimation du fait de la faiblesse des rendements de récupération. Dans le cadre d'une analyse quantitative des risques liés aux campylobacters sur viandes, cette sous-estimation devrait être prise en considération.

Références bibliographiques

Bracewell, A. J., J. O. Reagan, J. A. Carpenter, L. C. Blankenship. 1985. *J. Food Prot.* 48:944-946.
Laroche, M., J. Kaiser, M. Federighi, C. Magras. 2004. http://www.ofival.fr/vpc/10jsmtv/com-05-02.pdf
Lee, A., S. C. Smith, P. J. Coloe. 1998. *J. Food Prot*. 61:1609-1614.
Magras, C., M. Laroche, M. Lebigre, J. Fosse, *et al*. 2005. 5 ème Congrès de l'ECVPH, Glasgow, 16-17 novembre 2005.
Fosse, J., C. Magras. 2004. Dangers biologiques et consommation des viandes. Lavoisier, Paris, 224 p.
Mircovich C., Laroche M., Desmonts M.H., Federighi M., *et al.* 2004. http://www.ofival.fr/vpc/10jsmtv/post-05-01.pdf.
Nesbakken, T., K. Eckner, H. K. Hoidal, O. J.Rotterud. 2003. *Int. J. Food Microb.* 80, 231-240.
Parkhill, J., B. W. Wren, K. Mungall, J. M. Ketley, *et al.* 2000. Nature 43(6770):665-668.
Solow, B. T., O. M. Cloak, P. M. Framatico. 2003. *J. Food Prot*. 66(11):2023-2031.

Remerciements

A F. Jugiau et F. Rama pour leur assistance technique.

UTILISER LA VAPEUR SURCHAUFEE POUR DECONTAMINER LA SURFACE DE CARCASSES DE VOLAILLES

KONDJOYAN A., PORTANGUEN S.

INRA Clermont-Fd/Theix – Qualité des Produits Animaux – Equipe Couplage Transferts-Transformations – 63122 Saint-Genes-Champanelle – Tél. : 04 73 62 44 92 – Fax. : 04 73 62 40 89

Introduction

La décontamination thermique de la surface des viandes est intéressante du fait de l'exigence des consommateurs pour un produit à la fois plus frais mais plus sûr et leur réticence face à l'emploi d'additifs chimiques ou de l'irradiation *(1)*. La peau des volailles est particulièrement contaminée, notamment par *Salmonella*, *Campylobacter* et *Listeria monocytogenes*. Lors des opérations d'abattage, des phénomènes d'intercontamination se produisent, ce qui induit une prolifération des pathogènes sur des carcasses initialement saines. De plus, *Listeria monocytogenes* est susceptible de coloniser durablement les usines agro-alimentaires et de recontaminer ainsi des produits cuits. L'ensemble de ces causes fait que les viandes de volailles sont responsables de nombreuses infections alimentaires dans le monde. La contamination initiale de la peau des volailles est cruciale car elle se propage de la peau vers la viande au cours des découpes et transformations successives du produit. Un procédé capable de décontaminer thermiquement la peau des volailles tout en conservant au produit son « état frais » est donc particulièrement intéressant en terme de santé publique et de conservation des produits. Un nouveau banc thermique a été conçu et construit à l'INRA pour tester l'effet décontaminant de jets de vapeur surchauffée à pression atmosphérique. Cette communication présente le principe de fonctionnement du banc, le protocole utilisé, les températures atteintes à la surface du produit et les premiers résultats microbiologiques obtenus sur de la peau de poulet.

Matériel et Méthodes

L'objectif du banc est de pouvoir appliquer des traitements thermiques homogènes, dans un mélange vapeur-air, sur des petits échantillons solides, tout en étant capable : (1) de faire varier la température du mélange, et (2) de suivre en continu l'évolution de la température à la surface des échantillons. La vapeur peut être surchauffée à différentes températures. Le fait de faire varier la distance entre la sortie de vapeur et la surface de l'échantillon permet de fixer la quantité d'air introduite dans la vapeur. Plus cette distance est importante, plus le mélange vapeur-air est riche en air. Après avoir été soumis au mélange vapeur-air, l'échantillon est refroidi brusquement en appliquant un jet d'air froid. Pendant tout le traitement, la température en surface de l'échantillon est mesurée à l'aide d'un pyromètre infrarouge. Le générateur de vapeur est sécurisé, sous pression (5 bars), ce qui permet d'obtenir à sa sortie une température de vapeur de l'ordre de 150°C. Sa capacité est suffisante pour obtenir un jet de vapeur de débit constant pendant environ 5 minutes. La vapeur est acheminée au dessus de l'échantillon par l'intermédiaire d'un tuyau en inox autour duquel a été fixée une résistance électrique. Cette résistance est connectée à une alimentation électrique, ce qui permet de surchauffer la vapeur à des températures différentes. Le jet d'air froid qui sert à refroidir la surface de l'échantillon est généré par un tube de Ranque-Hilsch. La vitesse du jet froid et sa température sont respectivement de l'ordre de 20 $m.s^{-1}$ et de 5°C. L'échantillon qui va être soumis au jet de vapeur, puis au jet d'air froid, est placé dans un support circulaire en téflon, relié à un socle également en téflon par l'intermédiaire d'une tige filetée (*figure 1*). Pendant les expériences la distance entre la sortie de la vapeur et la surface de l'échantillon est fixée à 36 mm. Le pyromètre infrarouge est solidaire du porte-échantillon. La température du mélange vapeur-air puis celle du jet d'air froid sont mesurées par l'intermédiaire d'un thermocouple étalonné de type K, localisé à 5 mm au dessus de la surface de l'échantillon. Pour quantifier l'effet de la décontamination, la peau du poulet est ensemencée avec une solution fortement chargée en une bactérie cible puis soumise au jet de vapeur. La différence entre la quantité de bactérie cible présente sur la peau avant (No en cfu/cm^2) et après traitement (N en cfu/cm^2) permettait de déterminer l'efficacité de la décontamination. La bactérie cible est *Listeria innocua.* Elle a été choisie car considérée comme très thermo-résistante. La charge microbienne initiale était de 10^5-10^6 cfu/cm^2 sur les échantillons de poulet. A l'issu du traitement les cellules bactériennes viables et thermo-résistantes sont décrochées à l'aide d'un stomacher puis dénombrées après l'étalement des dilutions décimales à la surface de géloses PALCAM. Le protocole microbiologique a été détaillé par Malbrancq *(2)*.

Résultats et Discussion

L'utilisation du banc expérimental permet d'obtenir des histoires temps-température très différentes en surface de la peau de poulet. Un modèle thermique a été développé au laboratoire pour analyser les cinétiques de température obtenues en surface d'échantillons de Téflon et de poulet *(3)*. Les cinétiques de température de surface mesurées par le pyromètre infrarouge et prédites par le modèle sont représentées sur la figure 2. Les premiers résultats microbiologiques ont été obtenus, sur de la peau de poulet recouvrant le muscle, avec des précultures non complètement en phase stationnaire (donc à priori plus sensible à la décontamination) et avec un système thermique non totalement réglé. Ils permettent toutefois de montrer qu'une décontamination effective peut être obtenue sans qu'il y ait cuisson du produit protégé par la peau. L'augmentation de la température sur de la peau de poulet recouvrant le muscle diminue fortement le temps de traitement et augmente significativement la destruction microbienne qui devient alors en moyenne supérieure à 3 log. La destruction n'est toutefois pas complète, contrairement à ce à quoi il serait possible de s'attendre vu les températures moyennes et maximales (supérieures de près de 40°C aux températures moyennes) imposées. Un meilleur réglage du banc de décontamination permet de réduire les variations entre les expériences du fait d'une meilleure homogénéité des températures de traitement. Le fait de travailler sur la peau du poulet seule (ne recouvrant pas un échantillon de viande) permet d'obtenir des températures plus élevées et certainement un peu plus homogènes sur le produit, la décontamination est donc alors significativement plus importante. Des essais sont en cours pour déterminer des cinétiques de destruction de *Listeria innocua* plus précises en surface de peaux de poulets.

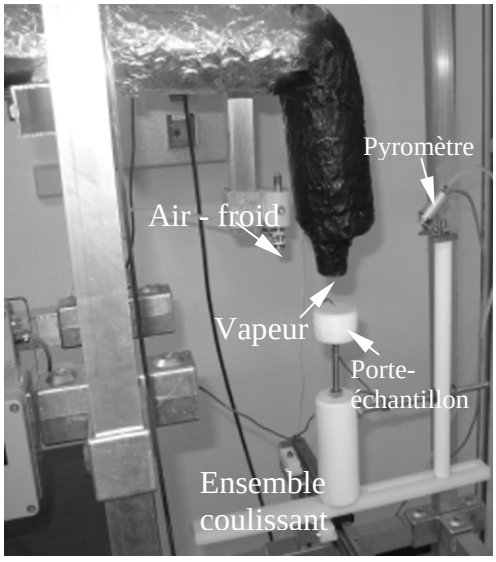


Figure 1 : Vue de la partie du banc thermique servant au traitement de l'échantillon par le mélange vapeur-air.

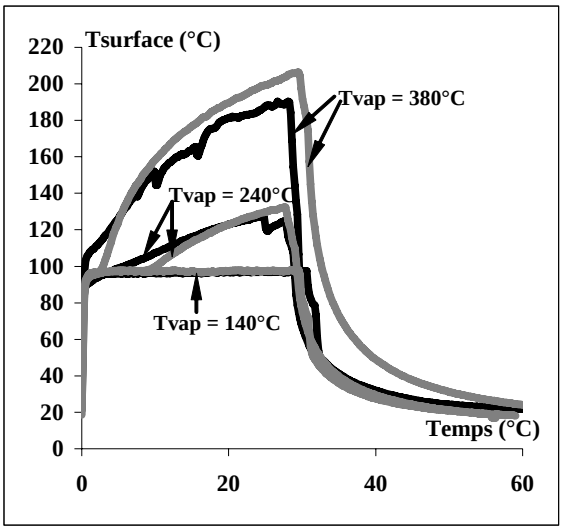


Figure 2 : Températures de surface mesurées sur un échantillon de Téflon de 2 cm d'épaisseur (gris) et un haut de cuisse de poulet recouvert de sa peau (noir) pour différentes températures de vapeur.

Conclusion et perspective

L'utilisation du banc expérimental nous a conduit à développer un nouveau procédé basé sur l'utilisation de jets de vapeur surchauffée et à pression atmosphérique qui permet de diminuer la contamination initiale en micro-organismes thermorésistants d'au moins 3 logs. Le traitement ne cuit pas la viande localisée sous la peau de la volaille, le reste de la carcasse blanchissant légèrement. Après passage en chambre réfrigérée la peau des carcasses garde un aspect visuel acceptable pour le consommateur. Le traitement est souple et bref, et serait applicable à moindre coût aux cadences industrielles. Une demande de brevet a été déposée en Novembre 2005 par l'INRA. Le procédé thermique demande encore à être amélioré. D'autre part des essais sont en cours, en partenariat avec le CIRAD, pour tenter de potentialiser le traitement thermique en y adjoignant un traitement par l'acide lactique. L'utilisation de ces traitements combinés serait particulièrement intéressante dans les DOM-TOMs et dans des pays en voie de développement.

Références bibliographiques

1. James, C., James, S., 1997. Adv. Fellowship in Food Process Engineering, 140 p.
2. Malbrancq, Y., 2003. *DEA Sciences des Aliments, Université de Bordeaux I*, 33 p.
3. Malbrancq, Y., Kondjoyan, A., 2004. Congrès Français de Thermique, 837-842

SESSION 5

Bases biologiques de la qualité des viandes

Animateurs : Cécile Berri (Inra- Tours)
et Claudia Terlouw (Inra Clermont-Ferrand)

Conférences

CARACTERISTIQUES DES MUSCLES ET DE LA VIANDE DES PRINCIPALES RACES BOVINES ALLAITANTES DU MASSIF CENTRAL

PICARD B. [1], JURIE C. [1], BAUCHART D. [1], DRANSFIELD E[2], OUALI A. [2], MARTIN J.F. [2], JAILLER R. [1], LEPETIT J. [2], CULIOLI J. [2]

[1]Unité de Recherches sur les Herbivores, [2]Unité de Recherches sur la Qualité des Produits Animaux, INRA, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle

Introduction

Bien que la consommation de viande bovine ait retrouvé en France, des valeurs d'avant les deux crises ESB, les consommateurs demeurent insatisfaits de la qualité sensorielle, en particulier de la tendreté et de la flaveur de cette viande qui présentent une forte variabilité non maîtrisée. Ce point représente un problème majeur de la filière bovine qui est confrontée à la concurrence des viandes blanches offrant un rapport qualité/prix plus intéressant pour les consommateurs. Les nombreuses recherches conduites durant ces dernières années ont bien montré que cette variabilité est la conséquence d'une part de facteurs propres à l'animal (race, sexe, âge) et à ses conditions de productions (Hocquette et al., 2005), et d'autre part aux conditions d'abattage et de maturation de la viande (Culioli, 1999). Les qualités sensorielles dépendent de la composition et des propriétés structurales du muscle, particulièrement de ses deux composantes majeures : la trame conjonctive et les myofibres. La trame conjonctive est constituée essentiellement de collagène, protéine qui par sa teneur, sa nature et sa solubilité dans l'eau et à la chaleur, est un facteur déterminant de la tendreté de la viande (Lepetit 2004). C'est sur la base de ces critères que sont classées les trois catégories de morceaux : à bouillir, à braiser, à rôtir ou à griller. Les fibres musculaires qui occupent la majorité (≈85%) du volume du muscle sont classées sur la base de leurs propriétés contractiles (vitesse de contraction lente ou rapide) et métaboliques (métabolisme glycolytique qui utilise principalement les glucides comme source d'énergie et métabolisme oxydatif utilisant préférentiellement les acides gras). Ainsi, dans le muscle de bovin adulte on distingue trois types de fibres : SO (slow oxydative), FOG (fast oxydo-glycolytic) et FG (fast glycolytic) (Picard et al., 2003). Ces types sont présents en proportions variables dans les différents muscles de la carcasse. Si la tendreté de la viande dépend des propriétés du muscle à l'abattage, elle est aussi fortement dépendante de la phase de maturation. La maturation de la viande est un processus multifactoriel très complexe affectant principalement la structure myofibrillaire et dépendant de plusieurs facteurs *ante-* et *post-mortem*. C'est un processus essentiellement enzymatique (Ouali, 1992). Il résulte de l'action des protéases endogènes sur les protéines contractiles et sur les constituants du cytosquelette (Huff-Lonergan and Lonergan, 1999). Les systèmes protéolytiques identifiés dans le muscle comprennent les métallopeptidases (Matrix Metalopeptidases ou MMP's), les calpaïnes, les cathepsines, le protéasome et les sérine peptidases (Goll et al., 1999 ; Balcerzak et al., 2001). Deux d'entre eux ont été particulièrement étudiés. Il s'agit des calpaïnes et des cathepsines (Ouali, 1992). Une contribution significative de la sous-unité 20S du protéasome au processus de maturation a été mise en évidence plus récemment (Dutaud et al., 2006). Par ailleurs, certains résultats indiquent clairement que le taux d'inhibiteurs spécifiques de ces systèmes protéolytiques constitue un meilleur indicateur du processus d'attendrissage que le taux des enzymes cibles elles-mêmes (Ouali et Talmant, 1990). Cette phase de maturation est dépendante de facteurs physicochimiques tels que la concentration en calcium du muscle, la pression osmotique, les processus de peroxydation qui sont liés aux propriétés contractiles et métaboliques des fibres. Ainsi, il a été démontré que le processus de maturation est plus rapide dans les muscles rapides glycolytiques que dans les muscles oxydatifs (Ouali, 1992).

Ainsi, il apparaît clairement que la tendreté de la viande est très difficile à maîtriser en raison de son origine multifactorielle non totalement expliquée jusqu'à présent. C'est dans ce contexte qu'a été mise en place en 1996 pour une durée de 5 ans, une expérimentation financée par le Commissariat au Développement Economique et à l'Aménagement du Massif Central dans le cadre du XIème Contrat de Plan Etat-Région. L'objectif principal était de préciser la part respective de chacun des constituants musculaires dans le déterminisme de la tendreté de la viande. L'étude conduite sur des taurillons et des vaches de réformes des quatre principales races allaitantes du Massif Central : Aubrac, Charolaise, Limousine, Salers, a également permis d'apporter des informations concernant l'influence de l'âge, du sexe et de la race des animaux sur les propriétés des muscles et la qualité sensorielle de la viande.

Matériels et méthodes

Un total de 168 animaux a été analysé. Les taurillons (T) (n=84) des 4 races étudiées ont été achetés à l'âge de 9 mois et conduits, jusqu'à trois âges différents 15, 19 et 24 mois (n = 7 taurillons par âge et par race), en stabulation libre sur une ration généralement utilisée dans la Limagne auvergnate et distribuée à volonté. Cette ration était constituée de pulpes de betterave sur-pressées et ensilées (85%), complémentée par du maïs grain, du tourteau de soja et de l'urée. Les vaches de réforme (V) (n=84) des 4 races étudiées ont été achetées l'année de leur abattage et conduites sur la même ration que les taurillons jusqu'à l'abattage effectué à même état d'engraissement évalué manuellement (note moyenne :

3,5). Ainsi, leur période d'engraissement (de 7 jours à 4 mois) a varié en fonction de leur état d'engraissement à leur arrivée à l'étable. Les animaux ont été répartis en trois groupes d'âges, 4-5 ans, 6-7 ans et 8-9 ans. Un effectif de 7 vaches par tranche d'âge et par race a été ainsi analysé.
Les animaux (T et V) ont été abattus à l'abattoir expérimental du Centre INRA de Clermont-Theix, à âge fixe pour les taurillons et à même note d'état d'engraissement (3,5) pour chaque groupe d'âges, pour les vaches. Sur l'ensemble des carcasses, trois muscles à rôtir aux caractéristiques très distinctes ont été analysés : le *Longissimus thoracis* (LT, faux-filet), le *Semi-tendinosus* (ST, rond de gîte) et le *Triceps brachii* (TB, boule de macreuse). Les diverses caractéristiques structurales et biochimiques du muscle (collagène, fibres, lipides, protéases, répartition de la trame conjonctive…) ont été déterminées juste après l'abattage ; l'évolution de ces caractéristiques a été suivie au cours de la maturation et le degré de tendreté de ces muscles, à deux temps de maturation, a été analysé par des méthodes mécaniques : tests de compression et de cisaillement sur viande crue et cuit) complétées par un jury de dégustation (Dransfield et al., 2003).

Résultats et discussion

1 - Effet de la race

Le poids vif des animaux ainsi que la composition de la carcasse montrent des différences significatives entre races pour les deux types de production. Ces différences sont plus marquées chez les vaches que chez les taurillons. Globalement le poids final est significativement plus élevé pour les animaux charolais que pour les animaux des 3 autres races. Le poids de carcasse n'est pas significativement différent entre les quatre races pour les taurillons alors qu'il est significativement plus élevé pour les vaches charolaises et limousines. En revanche, le poids de muscle est supérieur pour les deux races à viande (Charolaise et Limousine) de manière plus extrême chez les Limousins. Quel que soit le type d'animal, les Limousins ont des poids de muscle significativement supérieurs aux autres et sont les moins gras, alors que les Salers présentent les valeurs de poids de muscles les plus faibles et sont les plus gras (Picard et al., 2002 et Jurie et al., 2005).

Sur l'ensemble des caractéristiques mesurées, tous muscles confondus, les différences les plus marquées entre races, se retrouvant dans les deux types de production, concernent les propriétés métaboliques des muscles (activité oxydative ICDH : T : P<0,05 ; V : P<0,001 – activité glycolytique LDH : T : P<0,01 ; V : P<0,001) et les propriétés thermiques du collagène (teneur en collagène insoluble : T : P<0,05 ; V : P<0,05) (Picard et al., 2002). Les animaux limousins se différencient le plus des autres avec des muscles plus glycolytiques et moins oxydatifs, les différences étant plus marquées chez les vaches que chez les taurillons. De plus, leur teneur en collagène insoluble est plus faible. La teneur des muscles en lipides totaux (P<0,05) et triglycérides (P<0,05) ne présente des différences entre races que chez les vaches, les valeurs étant les plus faibles chez les Limousines et les plus élevées chez les Aubracs (Bauchart et al., 2002a). La teneur en calpaïne I mesurée uniquement dans le muscle LT, est significativement supérieure en race Limousine (T : P<0,10 ; V : P<0,5). La teneur en calpaïne II est également supérieure dans cette race, mais la différence n'est significative que pour les taurillons (P<0,01). Le rapport calpaïne/calpastatine, relié à la vitesse de maturation de la viande, diffère entre les animaux charolais et limousins, les valeurs étant les plus faibles en race Limousine et les plus élevées en race Charolaise (P<0,05). Concernant la teneur en sous-unité 20S du proteasome, aucune différence significative n'a été notée pour le muscle LT entre les différentes races étudiées. De plus, la force de cisaillement (sur viande crue à 14 jours de maturation) est la plus faible en race Limousine, chez les taurillons (P<0,10). De façon intéressante, la force de compression sur viande crue apparaît différente entre les races 24 heures après l'abattage (T : P<0,001 ; V : P<0,10). Toutefois, aucune différence significative n'est notée 14 jours après l'abattage (T : P<0,10 ; V : P=0,23), ce qui traduit des vitesses de maturation différentes mais un degré de maturation similaire après stockage.
Malgré les quelques différences de caractéristiques des muscles observées entre races, la qualité sensorielle (tendreté, jutosité, flaveur) n'est pas significativement différente entre les quatre races pour les deux types de production et ceci quel que soit le muscle considéré (Dransfield et al., 2002).
.
Ces résultats montrent que des animaux de différentes races élevés ou engraissés dans des conditions identiques présentent des différences de poids, de composition de la carcasse et de rendement en muscles. Cependant, les caractéristiques des muscles de ces animaux ne montrent que peu de différences marquées. Les principales différences concernent les propriétés métaboliques des muscles qui sont plus glycolytiques chez les races à viande et plus oxydatives chez les races rustiques. Ces données sont en accord avec le fait qu'une sélection sur le potentiel de croissance musculaire induit une augmentation du nombre de fibres rapides glycolytiques (Hocquette et al., 2005). Cependant, il est intéressant de noter que les différences dans les mesures mécaniques observées à l'abattage ou après un jour de maturation, disparaissent après 14 jours. En particulier, les animaux limousins dont les caractéristiques musculaires sont favorables à une vitesse de maturation supérieure, ne montrent pas de qualités sensorielles différentes des autres races après 14 jours de maturation.

2 - Effet du type de muscle

2.1 Chez les taurillons

Toutes les caractéristiques musculaires étudiées présentent des différences significatives entre muscles. En particulier, la surface moyenne des fibres est la plus faible (3420 μm^2) pour le muscle LT, celle du muscle ST étant la plus élevée (5534 μm^2), le TB étant intermédiaire (4174 μm^2). La même classification est retrouvée (LT<TB<ST) lorsque l'on considère la surface moyenne de chaque type de fibres (SO, FOG et FG).
Les trois muscles ST, LT, TB diffèrent également par leurs proportions en fibres de type SO (38,6 ; 12,7 ; 28,5 % respectivement), de type FOG (13,5 ; 22,0 ; 24,4 % respectivement), de type FG en particulier entre le muscle ST (65,4 %) d'une part et les muscles LT et TB (47,9 et 47,2 %) d'autre part. En accord avec une proportion de fibres FG supérieure, le muscle ST présente une activité LDH plus élevée (1062,2 µmole/min.g de muscle), les muscles LT et TB n'étant pas différents entre eux (897,6 et 927,8 respectivement). Au contraire, l'activité ICDH est la plus faible dans le ST (0,97 µmole/min.g de muscle), les activités dans le LT (1,92) et le TB (1,77) bien que très proches diffèrent significativement (Jurie et al., 2005).
Malgré des différences métaboliques importantes, les muscles montrent peu de différences dans les valeurs de pH mesurées 1 heure après l'abattage. En revanche, la vitesse de chute du pH est plus rapide dans le ST (muscle le plus glycolytique), le pH mesuré 3 heures après l'abattage étant plus faible que dans les deux autres muscles. Toutefois, ces différences de pH entre muscles ne sont plus détectées 24 heures après l'abattage.
Concernant les caractéristiques du collagène, le muscle LT présente, comme attendu, des teneurs en collagène total et insoluble plus faibles comparativement aux deux muscles ST et TB. Alors que la teneur en collagène total est identique dans les deux muscles ST et TB, la teneur en collagène insoluble est différente (ST>TB), ce qui traduit des différences dans la réticulation entre les chaînes de collagène.
Les trois muscles présentent également des différences très significatives dans les teneurs en lipides intramusculaires (P<0,001) : LT > TB> ST. On retrouve le même classement pour la teneur en triglycérides exprimée à la fois en mg/g de tissu frais ou de tissu sec (P<0,001). Concernant la teneur en phospholipides, c'est le TB qui a les valeurs les plus élevées et le LT les valeurs les plus faibles (P<0,001) (Bauchart et al., 2002b).

Ainsi, chez les taurillons, l**es 3 muscles étudiés présentent des caractéristiques biochimiques très différentes. Pour la plupart d'entre elles, le LT et le ST sont extrêmes, alors que le TB montre des valeurs intermédiaires. Ainsi, le muscle LT renferme les plus fortes proportions de fibres lentes oxydatives, il a le métabolisme le plus oxydatif et le moins glycolytique. Il contient le plus de lipides totaux et de triglycérides et le moins de phospholipides. La surface de ses fibres est la plus faible. Enfin, il renferme moins de collagène qui est plus soluble que dans les deux autres muscles. Toutes ces caractéristiques sont tout à fait cohérentes entre elles.**

2.2 Chez les vaches de réforme

La plupart des différences de caractéristiques biochimiques observées entre muscles chez les taurillons se retrouvent chez les vaches. Toutefois, quelques divergences sont à noter :
- la surface des fibres SO et FOG n'est pas différente entre muscles chez les vaches, alors que des différences marquées sont observées chez les taurillons.
- la proportion de fibres FG (rapides glycolytiques) n'est pas différente entre TB et LT chez les taurillons, alors que chez les vaches, le classement suivant est observé : TB<LT<ST.
- la classification de l'activité ICDH (oxydative) est également inversée pour les muscles LT et TB : TB>LT>ST chez les vaches par rapport aux taurillons (LT>TB>ST).
- les écarts de pH entre muscles, visibles à 3 heures post-mortem chez les taurillons, sont encore visibles 24 heures après l'abattage chez les vaches.

Les différences dans les propriétés biochimiques observées entre muscles ont des conséquences sur les mesures mécaniques réalisées. En particulier l'effet muscle est très marqué sur la force de cisaillement. Que ce soit pour les vaches de réforme ou les taurillons, le même classement est observé : LT<TB<ST, ce qui reflète les variations de quantité de collagène. On retrouve globalement le même classement entre muscles pour les résistances mécaniques après chauffage, mais les différences sont plus faibles. Concernant la maturation des muscles, le LT apparaît plus maturé que les deux autres muscles, que ce soit à 1 jour ou 14 jours de maturation.

Ainsi, le muscle LT se distingue des deux autres muscles par une maturation supérieure et une force de cisaillement inférieure, à associer à des teneurs en collagène plus faibles.

Concernant les résultats d'analyse sensorielle, nous constatons que les steaks du LT étaient de bonne qualité avec des notes moyennes de tendreté, de jutosité et de flaveur variant entre 5,1 et 6,6 sur une échelle de 0 à 10. Le ST avait des notes variant entre 4,8 et 6,6 et le *Triceps Brachii* entre 5,0 et 6,5. Toutes races et âges confondus, il apparaît qu'il y a globalement les mêmes différences entre muscles chez les taurillons et chez les vaches. Le ST est en moyenne le moins

tendre avec moins de flaveur que les deux autres muscles. Le LT est le plus tendre, mais le moins juteux. Le TB est de tendreté intermédiaire, il apparaît le plus juteux mais présentant la plus faible flaveur en particulier chez les vaches (Dransfield et al., 2003).

3 - Effet de l'âge

3.1 Chez les taurillons

Des différences significatives sont observées entre les trois âges étudiés pour l'ensemble des caractéristiques biochimiques mesurées. En particulier, la surface moyenne des fibres (globale et par type) augmente significativement avec l'âge (P<0,001) (Jurie et al. 2005). L'augmentation de surface des fibres SO et FOG est plus élevée que celle des fibres FG. Ces évolutions sont les plus faibles dans le LT et plus fortes dans le TB. Pour les trois muscles, il se produit peu de modifications dans les proportions des différents types de fibres entre 15 et 19 mois. En revanche, entre 19 et 24 mois, la proportion de fibres SO augmente et au contraire celle des fibres FOG diminue. Ces modifications de la taille et des types de fibres induisent un accroissement du pourcentage de surface occupée par les fibres SO et une diminution de celui des fibres FG entre 19 et 24 mois. En cohérence avec les évolutions des propriétés contractiles, les propriétés métaboliques restent inchangées entre 15 et 19 mois dans les trois muscles. En revanche, entre 19 et 24 mois l'activité oxydative augmente alors que l'activité glycolytique diminue (Jurie et al., 2005).
L'âge des animaux n'a pas d'influence sur le pH mesuré 1 heure ou 3 heures après l'abattage dans les trois muscles et même sur le pH mesuré 24 heures après abattage dans le LT.
La teneur en collagène total est augmentée significativement entre 19 et 24 mois, sa solubilité est modifiée avec l'âge dans les trois muscles. Elle augmente entre 15 et 19 mois et diminue entre 19 et 24 pour retrouver à 24 mois des valeurs similaires à celles mesurées sur les taurillons de 15 mois (Jurie et al., 2005).
Globalement, on observe une augmentation significative des teneurs en lipides totaux (P<0,01) avec l'âge, pour tous les muscles. Toutefois, dans le muscle ST, cette augmentation est due à une augmentation de la teneur en phospholipides, alors que dans les deux autres muscles elle est liée à une augmentation de la teneur en triglycérides (Bauchart et al., 2002b). Des évolutions différentes entre les quatre races sont observées, la teneur en lipides totaux évolue significativement avec l'âge, uniquement dans la race Charolaise, particulièrement entre 19 et 24 mois. La teneur en triglycérides augmente également entre 19 et 24 mois dans les muscles LT et TB uniquement chez les Charolais. La teneur en phospholipides évolue significativement avec l'âge dans le muscle ST des Aubracs, Charolais et Limousins, mais elle n'est pas modifiée chez les Salers. Dans les 3 races, elle diminue entre 15 et 19 mois, puis augmente entre 19 et 24 mois.
Mesuré uniquement dans le muscle LT, le taux de calpaïne I diminue significativement entre 19 et 24 mois (P>0,001). Le taux de calpaïne II présente également des valeurs supérieures à 15 et 19 mois, mais de manière non significative. De même, le taux d'inhibiteur de la protéolyse calcium dépendante, la calpastatine, n'évolue pas significativement entre les 3 âges. En revanche, le taux de protéasome 20S diminue significativement entre 19 et 24 mois.
L'indice de maturation mesuré sur viande crue à 1 jour, diminue avec l'âge dans les trois muscles. Après 14 jours de maturation les différences persistent uniquement dans le muscle LT. Les forces de compression et de cisaillement mesurées sur viande cuite, ne sont pas différentes entre les 3 âges. Malgré les différences observées dans les propriétés musculaires, les résultats d'analyse sensorielle ne révèlent aucune différence significative entre les 3 âges.

Ainsi, l'évolution des propriétés des muscles observée entre 15 et 24 mois, n'induit pas de différences notables dans les qualités sensorielles des viandes. Ces résultats sont en accord avec les données bibliographiques suggérant que la tendreté de la viande paraît peu évoluer avant l'âge de deux ans chez des taurillons (Touraille et al., 1982).

3.2 Chez les vaches de réforme

Globalement, toutes races confondues, l'âge a très peu d'influence sur les caractéristiques musculaires étudiées. Seules la surface moyenne des fibres dans le muscle ST et les caractéristiques du collagène sont modifiées avec l'âge. Ainsi, la surface moyenne de chacun des types de fibres augmente significativement de 4-5 ans à 6-7 ans dans le ST et contribue à expliquer l'augmentation de la surface moyenne des fibres dans cette tranche d'âge. Les teneurs en collagène total et insoluble diminuent de 4-5 ans à 6-7 ans puis restent stables (Jurie et al., 2006).
Une interaction âge x race est observée pour la teneur en lipides totaux et en triglycérides dans le TB et le ST. Dans le TB des vaches Salers, la teneur en lipides totaux diminue entre 6-7 et 8-9 ans. En revanche, dans le ST des Aubracs, elle augmente dans cette tranche d'âge. La teneur en triglycérides augmente chez les Aubracs dans les 3 muscles, mais elle diminue avec l'âge dans le ST et le TB des Salers et dans le LT des Charolaises (Bauchart et al., 2002a).
Alors que les taux de calpaïnes et de calpastatine ne sont pas différents entre les 3 tranches d'âge, la teneur en protéasome 20S est significativement plus faible chez les vaches les plus âgées (P< 0,05).
Les indices de maturation à 1 et 7 jours post-mortem ne sont pas influencés par l'âge des vaches. En revanche, à 14 jours post-mortem ils sont significativement plus élevés chez les vaches de 8-9 ans, indiquant que la viande de ces vaches mature moins vite (P<0,001). Cette observation peut être reliée au fait que la teneur en protéasome 20S diminue

significativement chez les vaches de 8-9 ans. Les mesures de cisaillement sur viande crue et de compression sur viande cuite réalisées à 14 jours de maturation, ne révèlent cependant pas de différences entre les 3 tranches d'âges.
Les résultats d'analyse sensorielle montrent que dans les races Salers et Aubrac, il y a une tendance à ce que les animaux les plus âgés (8-9 ans) soient moins tendres (notes moyennes de 5,9) que les deux autres âges (note moyenne de 6,6). Cet effet n'est toutefois pas retrouvé sur les races Charolaise et Limousine où la tendreté des animaux de 4-5 ans (notes moyenne de 6,2) est identique à celle des animaux de 8-9 ans (notes moyennes de 6,5). L'évolution de la flaveur avec l'âge est également influencée par la race. Pour les vaches Aubracs, Charolaises et Limousines, la flaveur apparaît la plus faible pour la tranche d'âge 6-7 ans ($P<0,05$; 6,11 vs 5,77 vs 6,11). En revanche, pour les Salers, le groupe de 4-5 ans a une flaveur plus intense (6,8) que les plus âgés (note moyenne de 5,6). En revanche, la jutosité n'est pas différente entre les 3 tranches d'âges dans les 4 races (Dransfield et al., 2002).
Pour le muscle ST, l'effet de l'âge est plus marqué pour toutes les caractéristiques du profil sensoriel. Le groupe de 8-9 ans (tendreté de 5,3) a tendance à présenter une tendreté inférieure aux 2 autres groupes (5,4). Le groupe de 4-5 ans a tendance à être plus juteux (5,6 contre 5,3) et le groupe de 6-7 ans a les notes de flaveur légèrement plus faibles (5,3 contre 5,8).
En ce qui concerne le TB, la tendreté varie avec l'âge de manière différente selon la race, les notes moyennes nous montrent que la tendreté a tendance à être plus élevée à 8-9 ans (tendreté initiale de 5,9 contre 5,4), sauf pour les Salers où le groupe de 4-5 ans se trouve être le plus tendre. Concernant la flaveur, pour les Limousines et les Salers le groupe de 6-7 ans a tendance à avoir des notes inférieures aux autres groupes d'âges (5,7 contre 6,2), alors qu'aucune différence entre tranches d'âge n'est observée pour les Aubracs et les Charolaises.

Il est important de noter que les caractéristiques biochimiques des 3 muscles sont très peu modifiées dans les tranches d'âges de 4 à 9 ans chez les vaches de réforme. Dans le muscle LT aucune modification n'est observée ce qui est en accord avec le fait que la tendreté reste stable dans ce muscle comme l'ont également montré Bastien et al. (2002) sur le muscle LT de vaches limousines et normandes âgées de 3,5 à 5 ans et de 9 à 11 ans. Toutefois, en comparant des muscles de vaches de 5 et 11 ans, Dumont et al. (1991) ont montré que la tendreté était plus faible sur les morceaux de viande des vaches de 11 ans suggérant une diminution de la vitesse de maturation avec l'âge. Celle-ci est en accord avec la diminution de la teneur en protéasome que nous avons observée chez les vaches les plus âgées.

4 - Relations entre la qualité sensorielle et la composition des muscles

Afin d'estimer les relations entre les caractéristiques des muscles et les qualités sensorielles, nous avons soumis l'ensemble des mesures de qualité (tendreté initiale, tendreté globale, jutosité, flaveur, résidu) des 3 muscles de l'ensemble des animaux) à une analyse en composantes principales. Les coordonnées sur les deux axes principaux ont été réparties en trois classes de qualité, les classes 1 (qualité inférieure), 2 et 3 (qualité supérieure) contenant respectivement 102 (21%), 167 (33%) et 228 (46%) des échantillons (Dransfield et al., 2003). Les moyennes des attributs de la classe de qualité supérieure sont supérieures d'environ 2 points à celles de la classe de qualité inférieure.
La répartition des types de muscles est significativement différente entre les 3 groupes. La classe de qualité supérieure comprend la plus grande proportion (44%) de muscle LT et la plus-faible proportion (21%) de muscle ST, la situation opposée étant observée dans la classe de tendreté inférieure (13% pour le muscle LT et 32% pour le muscle ST). Le muscle TB, lui, est réparti de manière équivalente dans les trois classes. Les répartitions dues au sexe/système de production et à la race ne varient pas de façon significative pour chaque classe de qualité. La contribution de la race Limousine à la classe de qualité supérieure semble toutefois plus importante, mais l'effet n'est pas statistiquement significatif. L'effet de l'âge des animaux est parfois significatif, la classe de qualité inférieure réunissant plutôt les animaux d'âge intermédiaire (taurillons âgés de 19 mois, vaches de réforme âgées de 5-6 ans) et la classe supérieure réunissant plutôt les jeunes animaux (47% des taurillons de 15 mois et 37% des vaches de réforme de 4-5 ans).

Chez les taurillons, les caractéristiques musculaires les plus corrélées avec la tendreté globale de la viande (tous muscles confondus) sont les lipides totaux et les triglycérides (corrélés positivement), la surface moyenne des fibres, le pH à 24h et la teneur en collagène total et insoluble (corrélés négativement avec la tendreté) (Tableau 1A). Chez les vaches, ces corrélations se retrouvent de manière encore plus marquée. A ces relations s'ajoute la proportion de fibres SO (lentes oxydatives) corrélée positivement avec la tendreté alors que le pourcentage de fibres FOG (rapides oxydo-glycolytiques) est corrélé négativement. On peut également remarquer que chez les vaches, c'est le pH 3 heures qui est le plus corrélé (positivement) à la tendreté (Tableau 1A).
La contrainte maximale, chez les taurillons, est corrélée à la surface moyenne des fibres ainsi qu'à la teneur en collagène insoluble (Tableau 1B). Comme pour la tendreté globale, on observe des corrélations plus nombreuses chez les vaches, chez lesquelles se rajoutent les propriétés des fibres : le % de fibres rapides (FG et FOG) étant corrélé positivement à la mesure de contrainte maximale, et le % de fibres SO corrélé négativement, en cohérence avec une corrélation négative entre l'activité ICDH et la contrainte maximale. Une corrélation positive est observée entre la teneur en collagène total et la contrainte maximale, alors que le pH à 1h, 3h et 24h est corrélé négativement (Tableau 1B).

Le pourcentage d'explication de la tendreté est plus élevé chez les vaches que chez les taurillons : chez les taurillons on explique 11% de la tendreté globale et 13% de la mesure de contrainte maximale, alors que chez les vaches 32% de variabilité de la tendreté globale sont expliqués et 22,5% de variabilité de la mesure de contrainte.

Ainsi, l'ensemble de ces données montre que la tendreté de la viande définie par analyse sensorielle ou par mesure mécanique est expliquée en partie par la surface des fibres musculaires et la teneur en collagène insoluble chez les deux types de production : taurillons et vaches. Un effet du diamètre des fibres sur la dureté de la viande a été trouvé dans d'autres études, en particulier celle de Renand *et al.*, (2001) dans le muscle LT de 106 taurillons âgés de 14 à 21, mais cette relation est contestée par d'autres auteurs. Les valeurs de pH post-mortem, en particulier le pH 3h, apparaissent bien corrélées à la tendreté surtout chez les vaches (Dransfield et al., 2003). Il a été proposé par Marsh et al., (1988) que le pH à 3 heures pouvait être un indicateur de la tendreté et qu'une valeur de pH voisine de 6,1 conduirait à la viande la plus tendre. En revanche, selon une étude plus récente portant sur 444 bovins (Shakelford et al., 1994), le pH mesuré très tôt après l'abattage n'apparaît pas bien corrélé avec la tendreté. Les résultats obtenus ici montrent que les échantillons les plus tendres (majoritairement le muscle LT) ont eu une chute lente de pH (Dransfield et al., 2003) ce qui confirme l'importance de ce facteur.
La chute de pH post-mortem est dépendante des propriétés contractiles et métaboliques des muscles. En accord avec ceci, ces propriétés sont corrélées à la tendreté sensorielle et mécanique, uniquement chez les vaches. De plus, la teneur en lipides totaux et triglycérides et en collagène total, est plus corrélée à la tendreté chez les vaches. L'absence de relation entre ces teneurs et la mesure de contrainte maximale chez les taurillons peut s'expliquer par les taux faibles observés chez les animaux jeunes qui ne sont pas suffisantes pour avoir des conséquences sur les mesures mécaniques.

Si l'on considère les relations entre les caractéristiques biochimiques et la tendreté de la viande, pour chaque type de muscle et d'animal, on n'observe que très peu de corrélations significatives (Tableau 1 A et B), ce qui est probablement dû à une réduction des effectifs analysés. Toutefois, nous confirmons que c'est chez les vaches que nous observons le plus de corrélations entre les caractéristiques biochimiques et la tendreté de la viande. Le muscle LT des vaches apparaît le plus tendre lorsqu'il contient le plus de lipides totaux et de triglycérides, qu'il présente les propriétés les plus lentes et oxydatives, et contient les teneurs en collagène total et insoluble les plus faibles. On peut s'étonner de n'observer un lien fort entre les teneurs en collagène et la tendreté sensorielle de la viande, que dans le LT qui est le muscle qui contient les teneurs les plus faibles en collagène. De manière opposée à ce qui est observé dans le LT, les muscles ST les plus tendres sont ceux qui ont les activités glycolytiques (LDH) les plus élevées. Il n'y a d'ailleurs que cette propriété qui apparaît significativement corrélée à la tendreté dans ce muscle. Ceci démontre que selon le type de muscle considéré, la tendreté de la viande peut être expliquée par des caractéristiques différentes, ce qui peut être à l'origine des nombreuses contradictions rencontrées dans la bibliographie sur les relations entre caractéristiques biochimiques et qualité sensorielle de la viande qui, selon les auteurs, ont été conduites sur des types de muscles ou d'animaux différents. Ceci montre également qu'aucun muscle ne peut être prédicteur de la qualité sensorielle de l'ensemble des autres muscles de la carcasse. Les teneurs en calpaïnes I et II, mesurées uniquement dans le muscle LT, apparaissent bien corrélées à la contrainte maximale chez les taurillons (Tableau 1B). Ce résultat surprenant demande à être vérifié et confirmé sur d'autres types de muscles.

La flaveur de la viande a tendance à être plus intense dans les muscles contenant les plus fortes teneurs en lipides et le moins de fibres de type FG. Ces résultats montrent que plus le pourcentage de fibres FG est élevé, plus la teneur en lipides a tendance à être faible ($r = -0,57$) ce qui peut être à l'origine de la diminution observée de flaveur avec l'augmentation du pourcentage de fibres de type FG (Dransfield et al., 2003).

La jutosité apparaît la plus élevée dans les muscles les plus oxydatifs qui contiennent les taux les plus élevés de lipides. Ces relations sont plus marquées chez les vaches que chez les taurillons. Pour les deux types de production, une relation négative entre la teneur en calpastatine (inhibiteur des protéases calcium dépendantes) et la jutosité est observée, indiquant que les muscles qui maturent moins bien ont une jutosité réduite.

Il est clair d'après ces résultats que la variabilité de texture est peu expliquée par la composition et les caractéristiques physico-chimiques des muscles. C'est toutefois chez les vaches qu'on observe le plus grand nombre de caractéristiques musculaires reliées à la tendreté et à la contrainte. De plus, il apparaît que d'un muscle à l'autre, ce ne sont pas les mêmes caractéristiques biochimiques qui expliquent les qualités sensorielles. Ceci explique, les nombreuses contradictions trouvées dans la bibliographie sur les relations entre qualités sensorielles de la viande et propriétés des muscles.

Tableau 1 : Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des muscles et la tendreté sensorielle globale (A) et la contrainte maximale de la viande cuite après 14 jours de maturation (B).

A	*Lipides*	*Fibres*	*pH et AE*	*Collagène*
Taurillons LT+ST+TB	*lipides tot*. + 0,13* *TG* + 0,17**	*surf. moy*. -0,17** surf. FOG - 0,15* surf. SO - 0,15*	pH 24h -0,17*	*coll. tot*. -0,13* *coll. insol*. - 0,13 *
Vaches de réforme LT+ST+TB	*lipides tot*. +0,23*** *TG* + 0,29*** PL -0,18 **	*surf. moy*. - 0,19** surf. FG -0,19** % FOG -0,28*** % SO + 0,25***	pH 3h + 0,28*** pH 1h + 0,14*	*coll. tot*. -0,23*** *coll. insol*. -0,30 ***
T-LT			pH 24h -0,23*	
T-ST			pH 24h -0,23*	
T-TB		surf. FG -0,23*		
V-LT		% SO + 0,23*		coll. tot. -0,27* coll. insol. -0,26*
V-ST			LDH + 0,23*	
V-TB	TG + 0,30**		pH 1h + 0,22*	

B	*Lipides*	*Fibres*	*pH et AE*	*Collagène*
Taurillons LT+ST+TB		*surf. moy*. +0,21*** surf. SO +0,16* surf. FOG +0,12* *surf. FG* +0,22***	pH 1h +0,22***	*coll insol*. + 0,19**
Vaches de réforme LT+ST+TB	lipides tot. -0,45*** TG -0,47***	*surf. moy*. +0,28*** *surf. FG* +0,25*** % SO -0,40*** % FG +0,25*** % FOG +0,16**	pH 3h -0,36*** pH 1h -0,25*** pH 24h -0,14* ICDH -0,37***	coll. tot. +0,31*** *coll. insol*. +0,29***
T-LT			pH 1h +0,37** pH 3h +0,32** calpaïne II + 0,29* calpaïne 1 +0,28*	
T-ST	lipides tot. + 0,25*		pH 3h +0,23 *	
T-TB				coll. tot. + 0,23*
V-LT	lipides tot. -0,49*** TG -0,48*** PL + 0,34**		ICDH - 0,24*	
V-ST				
V-TB	TG -0,25 *			

T : taurillons, V : vaches de réforme ; lipides tot. = lipides totaux, TG = triglycérides ; PL = phospholipides (mg/g de tissu sec) ; surf. moy. = surface moyenne (μm^2), SO = fibres lentes oxydatives ; FOG = fibres oxydo-glycolytiques, FG = fibres glycolytiques; AE = activités enzymatiques : LDH = lactate déshydrogénase; ICDH = isocitrate déshydrogénase (µmole/min/g muscle) ; Coll. tot. = collagène total, coll. insol. = collagène insoluble (µg OH-proline / mg de matière sèche). * : P<0,05 ; ** : P<0,01 ; *** : P<0,001

Conclusion

Cette étude a révélé que la part respective de chacune des caractéristiques musculaires dans la tendreté de la viande différait selon le muscle et le type d'animal. En particulier, bien que les caractéristiques des muscles des taurillons évoluent fortement entre 15 et 24 mois, les qualités sensorielles de la viande ne sont pas significativement modifiées. Ceci est cohérent avec le fait que chez les taurillons, les caractéristiques musculaires n'expliquent que 11 à 13% de la variabilité de la tendreté de la viande selon le muscle. Cette étude montre également clairement que les caractéristiques des muscles ne sont pas, ou très peu, modifiées chez les vaches entre 4 et 9 ans. De manière tout à fait originale, il ressort que dans les deux races rustiques, la tendreté des muscles ST et TB diminue entre 4 et 9 ans, alors qu'elle n'est pas modifiée dans les deux races à viande. La tendreté du muscle LT, elle, n'est pas modifiée dans cette tranche d'âge quelle que soit la race.
Les variables explicatives des qualités sensorielles ne sont pas les mêmes pour les deux types de production. La part de variabilité de tendreté expliquée par les caractéristiques musculaires est plus élevée pour les vaches par rapport aux

taurillons. En particulier, les proportions des différents types de fibres ressortent comme facteur d'explication de la tendreté uniquement chez les vaches. De plus, les corrélations entre les caractéristiques musculaires et la tendreté apparaissent différentes d'un muscle à l'autre. Par exemple, dans le LT, la tendreté est corrélée positivement aux propriétés lentes oxydatives alors que dans le ST, elle est corrélée positivement aux propriétés glycolytiques. Ceci illustre la complexité de la maîtrise de la tendreté des différents muscles de la carcasse.
Il ressort également de ces analyses que la tendreté estimée par le jury de dégustateurs et par des mesures mécaniques, n'est pas expliquée par les mêmes caractéristiques. Il est évident que les caractéristiques de composition ne peuvent être utilisées comme seuls prédicteurs de la tendreté de la viande. En conséquence, il ne semble pas possible de définir un modèle général explicatif de la tendreté sur la base des nombreuses caractéristiques musculaires déterminées dans cette étude et sur les types et races d'animaux sélectionnés. A partir des résultats obtenus, il apparaît que si un modèle peut être établi, il sera spécifique du type d'animal (taurillons, vaches de réforme) et du type de muscle.
L'ensemble de ces résultats montre combien la maîtrise de la qualité sensorielle de la viande bovine, en particulier la tendreté, est complexe. Il apparaît clairement que les caractéristiques connues n'expliquent qu'une faible part de la variabilité de la tendreté ce qui indique qu'elle est dépendante d'autres caractéristiques de composition et de structure des muscles qui n'ont pas été mesurées dans cette expérimentation. Les approches de génomique fonctionnelle par analyse du transcriptome et/ou du protéome qui permettent l'étude simultanée de centaines de gènes ou de protéines, devraient faciliter l'identification de nouvelles caractéristiques non identifiées et donc non prises en compte à ce jour.

Références bibliographiques

Balcerzak D., Querengesser L., Dixon W.T., Baracos V.E., 2001. J. Anim. Sci., 79 : 94-107.
Bastien D., Denoyelle C., Tribot Laspiere P., 2002. 9èmes Rencontres Recherches Ruminants, 9 : 251-254.
Bauchart D., Durand D., Martin J.F., Jailler R., Picard B., Geay Y., 2002a. Viandes et Produits Carnés, Numéro Hors Série, 9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande, 127-128.
Bauchart D., Durand D., Martin J.F., Jailler R., Geay Y., Picard B., 2002b. 9èmes Rencontres Recherches Ruminants, 9 : 268.
Culioli J., 1999. Bull. Acad. Vét. de France, 72 : 25-46.
Dransfield E., Martin J. F., Bauchart D., Abouelkaram S., Lepetit J., Culioli J., Jurie C., Picard B., 2003. Anim. Sci., 76: 387-399.
Dransfield E., Abouelkaram S., Bauchart D., Culioli J., Jurie C., Lepetit J., Listrat A., Martin J.F., Picard B. 2002. 9èmes Rencontres Recherches Ruminants, 9 : 255-258.
Dumont R., Roux M., Agabriel J., Touraille C., Bonnemaire J., Malterre C., Robelin J., 1991. INRA, Productions Animales, 4 : 271-286.
Dutaud D., Aubry L., Guignot F., Vignon X., Monin G., Ouali A., 2006. Meat Science, in press (disponible on line)
Goll D.E., Thompson V.F., Taylor R.G., Ouali A., Chou R.G.R., 1999. In: Calpain: pharmacology and toxicology of calcium-dependent protease (K.K.W. Wang and P.W. Yuen, Eds), Taylor & Francis, Philadelphia, PA, USA. pp 127-160.
Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Listrat A., Jurie C., Jailler R., Picard B. 2005. Cahiers Agricultures, 14 : 365-372.
Huff-Lonergan E., Lonergan S.M., 1999. In Quality attributes of muscle foods. (Xiong et al. Eds), Kluwer Academic/plenium Publishers, New York, USA. pp 229-251.
Jurie C., Martin J.F., Listrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B., 2005. Anim. Sci., 80 : 257-263.
Jurie C., Martin J.F., Listrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B., 2006. Anim. Sci., 82 : 415-421.
Lepetit J., 2004. Viandes et Produits Carnés, Numéro Hors Série, 10èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande: 15-25.
Marsh B.B., Ringkok T.P., Russell R.l., Swartz D.R., Pagal L., 1988. Reciprocal Meat conference, 41: 113-121.
Ouali A., Talmant A., 1990. Meat Sci., 28 : 331-348.
Ouali A., 1992. Biochimie, 74 : 251-265.
Picard B., Bauchart D., Culioli J., Dransfield E., Jailler R., Jurie C., Lepetit J., Listrat A., Ouali A., Rudel S., Geay Y.,. 2002. Viandes et Produits Carnés, Numéro Hors Série, 9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie de la Viande : 107-108.
Picard B., Jurie C., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., 2003. INRA Productions Animales, 16 : 125-131.
Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. Meat Sci., 59 : 49-60.
Shakelford S.D., Koohmaraie M., Savell J.W. 1994. Meat Sci., 37 : 195-204.
Touraille C., 1982. Bulletin Technique C.R.Z.V. Theix, INRA, 48 : 37-41.

Remerciements

Nous remercions le Commissariat au Développement Economique et à l'Aménagement du Massif Central qui a financé ces travaux à l'aide de fonds F.N.A.D.T. Nous remercions vivement Yves Geay qui est à l'origine de cette étude. Tous nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation : le personnel de l'Installation Expérimentale de l'URH, de l'abattoir et des laboratoires concernés.

RELATIONS ENTRE LE METABOLISME *POST MORTEM* ET LES QUALITES DES VIANDES : APPORTS DE LA PROTEOMIQUE

MORZEL M., TERLOUW C., LAVILLE E.

Qualité des Produits Animaux, INRA, Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

Introduction

Le métabolisme musculaire *post mortem* peut être défini comme l'ensemble des réactions biochimiques survenant dans le muscle au cours de la période allant de la mort de l'animal jusqu'à la préparation de la viande avant consommation. Les évènements *post mortem* les plus décrits sont la glycolyse, entraînant notamment accumulation de lactate et baisse de pH, l'oxydation des lipides mais aussi les modifications touchant les protéines: dénaturation, protéolyse, oxydation. De nombreux facteurs peuvent faire varier l'amplitude ou la nature du métabolisme *post mortem*, dépendants de l'animal (génétique, mode d'élevage et alimentation, réactivité au stress d'abattage etc…) ou technologiques (mode d'étourdissement, refroidissement des carcasses, emballages etc..) (Lebret et al., 1999 et 2002 ; Terlouw et al., 2005).
L'approche classique pour étudier le métabolisme *post mortem* est souvent dirigée envers un type de réaction et se fonde sur la quantification d'un ou plusieurs effecteurs ou produits de cette réaction. Ainsi, la glycolyse est étudiée en quantifiant une ou plusieurs enzymes clés de cette voie métabolique, ou en en observant le résultat (mesures de pH, quantité de lactate…). La protéolyse est abordée en quantifiant les protéases et leurs inhibiteurs, ou en observant les profils protéolytiques résultants. Or, tous les évènements interagissent étroitement entre eux et c'est le résultat de ces interactions qui conditionne les propriétés technologiques (ex : pouvoir de rétention en eau), sensorielles (flaveur, tendreté, jutosité) voire nutritionnelles des viandes. Ceci justifie en partie d'avoir recours à des méthodes d'étude dites globales, du type protéomique, métabolomique etc…
Au centre du métabolisme *post mortem* se trouvent les protéines, qui constituent en premier lieu une cible de modifications chimiques (ex : coupures, oxydations) ou structurales (ex : dénaturation) mais également qui sont les médiateurs des réactions biochimiques par l'intermédiaire des enzymes, inhibiteurs et protéines régulatrices. Ainsi, dans cette communication, nous présenterons le rôle de la composition en protéines de la cellule musculaire au moment de l'abattage, et celui des modifications des protéines *post mortem* sur les qualités des viandes crues avant préparation. Nous illustrerons notre propos par des exemples d'études que notre groupe de recherche a récemment réalisées en s'appuyant sur un outil privilégié, l'analyse protéomique.

Expression des protéines et qualités des viandes

Ce que nous appelons ici expression des protéines est la composition en protéines de la cellule musculaire au moment de la mise à mort. Celle-ci dépend du patrimoine génétique de l'animal (race, mutations, gènes majeurs) et des facteurs modulateurs à long terme, c'est à dire tout au long de la vie de l'animal ou à plus court terme, en particulier au cours des étapes de pré-abattage, que l'on sait perturbatrices de la physiologie musculaire. En prenant en compte le niveau d'expression des protéines et leur fonction biologique, il est possible de formuler des hypothèses sur la façon dont elles interagissent et de proposer des mécanismes explicatifs sur l'origine d'un défaut ou d'une particularité qualitative de la viande. Dans ce but, nous nous sommes attachés à étudier la fraction la plus soluble du protéome (fraction sarcoplasmique) parce qu'elle contient les principaux médiateurs des réactions biochimiques de la cellule musculaire.

Facteurs génétiques

Les différences intermusculaires sont des caractéristiques intrinsèques liées à la fonction spécifique du muscle. La comparaison des protéomes de muscles de mouton de type rapide glycolytique (*tensor fasciae latae*) avec un muscle plutôt lent oxydatif (*vastus medialis*) et avec un muscle de type intermédiaire tel le *semimembranosus* a montré que les muscles se différencient par des protéines liées au métabolisme oxydatif (Hamelin et al., en cours d'évaluation). L'expression des protéines du métabolisme glycolytique était relativement constante entre ces muscles. En relation avec le métabolisme oxydatif, nous avons mis en évidence des différences d'expression des protéines associées au 'stress oxydant' : des protéines impliquées dans la détoxification cellulaire, le reploiement des protéines dénaturées, la dégradation des protéines altérées et enfin, la synthèse protéique. Ces protéines confirment que le métabolisme oxydatif est générateur de composés toxiques, notamment les ROS (espèces réactives de l'oxygène), conduisant à un important turnover protéique. Par conséquent, les fibres dont le métabolisme est plus oxydatif sont dotées d'un équipement protéique spécifique qui leur permettra de résister à ce stress. Cette particularité des muscles rouges pourrait expliquer pourquoi ils sont moins susceptibles que les muscles blancs aux phénomènes de dénaturation, indépendamment du fait que la glycogénolyse *post mortem* y est moins intense.
La mutation conduisant à l'hypertrophie musculaire dans la race ovine 'Texel' belge' implique le gène de la myostatine (Clop et al., 2006). Les animaux présentant la mutation ont davantage de muscle et moins de gras. Les qualités sensorielles de leur viande ne sont a priori pas altérées. Les protéines mise en évidence lors de la comparaison d'animaux porteurs et non porteurs de la mutation (Hamelin et al., 2006a), montrent une sur-expression des enzymes

des métabolismes énergétiques, à la fois oxydatif et glycolytique. Certaines protéines chaperones sont aussi sur-exprimées probablement en relation avec l'augmentation du métabolisme énergétique. Enfin, deux protéines, la transferrine et l'alpha-1-antitrypsine sont respectivement, sur-exprimée et sous-exprimée dans tous les muscles des animaux porteurs de la mutation, qu'ils montrent ou non l'hypertrophie. Par exemple, ces protéines sont aussi modifiées dans le *vastus medialis* du génotype muté bien qu'il ne présente pas l'hyperytrophie. Ces deux protéines dont les gènes sont fortement exprimés au stade fœtal (ARNm), interagissent probablement pour renforcer le signal de prolifération lors de la myogénèse (Hamelin et al., 2006b). Dans cette étude, la protéine myostatine codée par le gène porteur de la mutation n'a pas été mise en évidence. En revanche, l'analyse du protéome révèle des protéines qui pourraient être impliquées dans les mécanismes de régulation de la myostatine et contribuer à l'augmentation de la muscularité.
Chez le porc, une mutation sur le gène du canal calcique RyR bien connue, est à l'origine de graves bouleversements métaboliques conduisant à des défauts qualitatifs très importants de la viande. Entre les porcs sensibles et les porcs non sensibles les différences d'expression protéique peuvent se résumer à une simple opposition dans l'expression des protéines impliquées dans les métabolismes énergétiques (oxydatif vs glycolytique). Les protéines sur-exprimées chez les porcs sensibles relèvent du métabolisme glycolytique (Sayd, communication personnelle).
Dans une population porcine à forte variabilité génétique, l'outil protéomique a également été utilisé pour comprendre les mécanismes d'apparition d'un défaut de viande (Sayd et al., 2006). Le défaut de déstructuration du jambon se manifeste d'abord par une décoloration des muscles situés à l'intérieur du jambon frais. Après la cuisson, cette zone se délite lors du tranchage et occasionne des pertes économiques considérables. Nous avons donc comparé le protéome de deux lots de jambons (clairs et foncés, choisis au sein de 12 familles d'une population F2 présentant une forte variabilité génétique). Cette étude a montré que les muscles foncés ont un métabolisme plus oxydatif associé à davantage de protéines chaperones. Cette composition protéique atténuerait la vitesse de chute du pH et la dénaturation des protéines. Les muscles clairs associent un métabolisme glycolytique prononcé à une sur-expression d'un transporteur de fer (transferrine). Cette protéine, révélatrice d'une hypoxie, montrerait une déficience en oxygénation du muscle (moindre vascularisation, incapacité de l'animal à adapter son flux sanguin au stress de l'abattage). Dans les muscles clairs, la surexpression de la glutathion S-transferase omega (GSTO) pourrait contribuer à une constante augmentation du calcium sarcoplasmique et donc à la production de composés oxydants. Associée au métabolisme glycolytique, cette protéine peut accélérer la déplétion d'ATP, la vitesse de chute du pH et par conséquent la dénaturation des protéines, ce qui a pour conséquence une décoloration de la viande et une déstructuration après la cuisson. Ces résultats permettent de comprendre pourquoi les conditions d'abattage ont un effet important sur le développement du défaut Sayd et al., 2006).
Au travers de ces exemples, on constate qu'une mutation a le plus souvent des conséquences indirectes sur l'expression différentielle des protéines. Le différentiel d'expression protéique n'indique pas nécessairement la mutation causale mais il peut être utilisé comme marqueur d'un caractère phénotypique que l'on souhaite retenir ou éliminer par la sélection ou les conditions d'élevage ou d'abattage. Dans certains cas, l'analyse différentielle du protéome ouvre des pistes pour expliquer les mécanismes sous jacents aux propriétés des muscles et de la viande.
Enfin, la protéomique peut aussi contribuer à la compréhension des différences des qualités des viandes entre des porcs de différentes origines génétiques. Un dispositif expérimental a été mis en place dans le cadre du programme européen Susporkqual. Il vise à déterminer la contribution relative du type génétique (pères Duroc ou Large White, mères Large White x Landrace), du mode d'élevage (intérieur, extérieur) et des conditions d'abattage (mélange ou non des groupes, attente ou non à l'abattoir) sur les qualités technologiques de la viande de porc. Une analyse des protéines de la fraction sarcoplasmique, effectuée sur le muscle *longissimus lumborum* de 24 animaux, a mis en évidence que 10 protéines étaient influencées par la race du père uniquement. De ces protéines, une Ca^{2+} binding protein (CBP), impliquée dans la régulation de la concentration du Ca^{2+} intra-cellulaire, était corrélée négativement avec l'exsudat des porcs de père Large White, expliquant 50% de la variabilité. L'effet est probablement indirect et lié à la relation entre le pH ultime (également corrélé avec l'exsudat) et la CBP. L'intensité des spots du CBP était plus élevée chez les porcs de père Duroc mais pas corrélée avec l'exsudat. L'approche permet également l'identification des protéines discriminantes pour l'origine raciale du père. Ainsi, une analyse par composante principale utilisant les 10 protéines permettait la classification correcte de 22 des 24 porcs par rapport à leur origine raciale. Après exclusion des 8 protéines ayant les contributions les moins élevées, 20 porcs étaient toujours correctement classés. Les protéines permettant cette classification étaient la heat shock protein 70 (HSP70) et la pyruvate kinase M2 (PK2). Toutes deux étaient fortement influencée par l'origine génétique, mais seulement la HSP70 était corrélée avec un indicateur de qualité de viande : la perte à la cuisson. Cette étude montre que les liens entre l'expression de protéines et les qualités des viandes dépendent du type génétique de l'animal.

Conditions de l'environnement de l'animal

Elevage
Il est bien connu que les conditions d'élevage peuvent modifier les propriétés contractiles musculaires et la teneur du muscle en certaines protéines telles que la myoglobine (Bidner et al, 1986), certaines enzymes anti-oxydantes (Gatellier et al., 2004) ou encore les enzymes des métabolismes énergétiques (Bee et al., 2004). Ceci a été particulièrement étudié dans le cadre de comparaisons élevage conventionnel vs élevage en plein air. Ceci résulte de plusieurs composantes des

conditions d'élevage, en particulier l'alimentation (accès à l'herbe par exemple) et l'exercice musculaire rendu possible par l'espace dont dispose l'animal.
A titre d'exemple, le dispositif expérimental du programme européen Susporkqual a mis en évidence que 18 spots protéiques étaient influencées significativement que par le mode d'élevage (Kwasiborski et al., 2006). Comparé aux porcs intérieurs, les porcs extérieurs avaient des intensités de myoglobine plus élevées et de glycerol-3-phosphate dehydrogenase (G3PDH, impliquée dans la phosphorylation de glycerol-3-phosphate qui permet la synthèse de NADH) plus bas, indiquant un métabolisme plus oxydatif. Les deux protéines étaient négativement corrélées avec le L* du même muscle *(longissimus lumborum*). Comparé à l'origine génétique (cf ci-dessus), les conditions d'élevage influencent l'expression de plus de protéines et l'utilisation de plus de protéines était également nécessaire pour classer correctement les porcs selon leur mode d'élevage : les 18 protéines permettaient la classification correcte de 22 porcs. Les 10 protéines avec les contributions les plus élevées étaient nécessaires pour une classification correcte de 18 porcs.

Stress d'abattage
Le stress d'abattage, avec ses composantes émotionnelle et physique, induit de nombreuses perturbations de la physiologie musculaire, qui peuvent se répercuter sur la qualité de la viande. Ceci a été largement documenté dans la plupart des espèces de rente, et plus encore chez le porc, la volaille et les poissons d'élevage.
Chez le porc et la volaille, une des conséquences d'une activité musculaire exacerbée immédiatement avant la mise à mort est la baisse de pouvoir de rétention en eau. Ce phénomène passe notamment par l'augmentation de la température des muscles et l'accélération de la glycolyse *post mortem*, la combinaison résultante de pH bas et température élevée favorisant la dénaturation des protéines (Bendall et Wismer-Pedersen, 1962) et notamment de la myosine. Ceci a été reporté comme étant la cause majeure d'exsudation excessive (Offer, 1991).
Un autre exemple de conséquences néfastes du stress d'abattage est l'amollissement de la chair chez plusieurs espèces de poissons (Sigholt et al., 1997; Morzel et al., 2003). Afin d'étudier les mécanismes sous-jacents, nous avons mené une étude comparative du protéome musculaire de deux lots de truites arc-en-ciel. Un lot était abattu dans des conditions limitant l'activité musculaire (pêche immédiatement suivie d'une anesthésie chimique et saignée pendant cette phase de conscience altérée), le deuxième lot étant soumis à un abaissement du niveau d'eau dans le bassin pendant quinze minutes, ce qui entraîne une forte agitation du groupe, avant d'engager la même procédure de pêche, anesthésie puis saignée. L'activité musculaire intense de 15 minutes suffit à modifier la proportion relative de plusieurs enzymes du métabolisme énergétique mais aussi de protéines de structure, très tôt (45 minutes) après la mort. Après 24h, les différences entre les deux groupes de truites sont très atténuées mais la desmine, une des protéines de structure, demeure sous-représentée chez les truites soumises à activité musculaire. Cette protéine a été proposée à plusieurs reprises comme un marqueur de fraîcheur chez le poisson. Ainsi, l'activité physique engendrée par un serrage prolongé des poissons influencerait la texture et la fraîcheur de la chair en affectant le cytosquelette de la cellule musculaire (Morzel et al., 2006a).

Etat des protéines et qualités des viandes

Post mortem, un ensemble de phénomènes de natures physico-chimique et enzymatique conduisent à une altération des structures musculaires. On parle de maturation pour le muscle de mammifères et d'oiseaux, où ces phénomènes contribuent notamment à l'attendrissement de la viande. Pendant cette période, les protéines musculaires sont modifiées par trois phénomènes principaux, interagissant entre eux: dénaturation, oxydation, protéolyse.

Dénaturation

La dénaturation peut être définie par le réarrangement spatial des protéines sans hydrolyse des liaisons peptidiques. Elle est provoquée par l'acidification du muscle, la dessication, l'exposition à des concentrations en sels élevées ou à des températures très basses (<0°C) ou élevées (Lawrie, 1998). Plusieurs mesures peuvent rendre compte de la dénaturation, les plus utilisées étant la solubilité (mesures de concentrations protéiques de la fraction du muscle solubilisée dans un tampon phosphate) ou la mesure du degré d'hydrophobicité.
Comme décrit précédemment, la combinaison d'un pH bas et d'une température élevée accroît le degré de dénaturation des protéines, comme c'est le cas par exemple dans la viande dite PSE (Pale Soft Exudative) chez le porc ou la volaille. Une étude récente (Laville et al., 2005) a caractérisé des muscles *semimembranosus* de porc touchés par un défaut de déstructuration, c'est à dire la présence de zones PSE dans les régions profondes du muscle. Nous avons montré la dénaturation de protéines sarcoplasmiques (solubilité réduite) et avons observé une altération de profils électrophorétiques mono-dimensionnels, sarcoplasmique et myofibrillaire, similaires à ceux décrits précédemment dans la viande PSE, par exemple par Joo et al. (1999). L'originalité de l'étude, toutefois, résidait dans l'utilisation de l'électrophorèse 2D pour la caractérisation du défaut. Nous avons notamment observé la sous-représentation d'une forme d'HSP27 dans la viande déstructurée. Etant donné le rôle de cette protéine dans la stabilisation des myofilaments d'actine, il est possible qu'une moindre quantité de cette protéine favorise la dénaturation des protéines constitutives des

filaments fins. Dans une étude ultérieure, nous avons proposé un mécanisme conduisant à cette importante dénaturation, décrit plus haut (Sayd et al., 2006).

Oxydation

L'oxydation des protéines est favorisée après la mort de l'animal par l'altération des systèmes de défense anti-oxydants, à savoir la perte d'activité des enzymes antioxydantes et la dégradation de molécules telles la vitamine C. L'oxydation se traduit par la formation de groupements carbonyles sur les acides aminés à fonctions NH_2 (R-NH_2 devenant R-CHO), l'oxydation des groupements SH et ainsi la possibilité de formation de ponts disulphures entre deux cystéines, l'oxydation des groupements OH conduisant notamment à des bityrosines, ou encore l'hydroxylation des acides aminés aromatiques (Davies, 1987, Stadtman, 1990). L'oxydation des protéines suscite un certain intérêt dans le domaine du muscle en tant qu'aliment, aussi bien la viande (Liu et Xiong, 1996 ; Martinaud et al., 1997) que la chair de poisson (Kjærsgård et Jessen, 2004) en raison notamment de son rôle dans l'insolubilisation des protéines (Decker at al., 1993) et dans la modulation de la protéolyse *post mortem*. Ainsi, des résultats ont été obtenus sur des milieux modèles (myofibrilles isolées, oxydées chimiquement par des radicaux hydroxyl OH° puis protéolysées par la papaïne). Dans ces conditions, l'oxydation induit la formation de ponts disulphures et de bityrosines, génère des agrégats et décroît la sensibilité des protéines myofibrillaires à la protéolyse (Morzel et al., 2006b).

Protéolyse

L'altération de l'intégrité musculaire après la sortie de la *rigor mortis* est principalement le résultat de l'action des enzymes protéolytiques sur les protéines de structure. Ainsi, la dégradation de certaines protéines myofibrillaires et du cytosquelette au cours de la maturation de la viande est largement acceptée, telles que la titine (Fritz et Greaser, 1991), la nébuline (Taylor et al, 1995; Huff-Lonergan et al, 1995), la desmine (Koohmaraie et al, 1991; Takahashi, 1996) et la troponine T (Ho et al, 1994). Chez le poisson, un marqueur particulier de la perte de fraîcheur est l' α -actinine (Tsuchiya et al, 1992; Papa et al, 1996). Les systèmes protéolytiques impliqués dans la maturation de la viande et dans la perte de fraîcheur du poisson sont les mêmes que ceux qui assurent la dégradation des protéines au cours des cycles de renouvellement cellulaires chez l'animal vivant (Asghar et Bhatti, 1987). Trois systèmes enzymatiques majeurs sont susceptibles d'intervenir : les calpaïnes, les cathepsines et le protéasome. On évoque aussi depuis peu l'intervention des systèmes enzymatiques impliqués dans l'apoptose, les caspases (Sentandreu et al. , 2002 ; Herrera-Mendez et al., 2006).
L'utilisation de l'outil protéomique nous a apporté de nouvelles informations sur les phénomènes protéolytiques. Dans un premier temps, nous avons dans la plupart des études entreprises observé la présence de fragments dès les premiers prélèvements *post mortem*, laissant supposer que ces fragments existent dans le muscle de l'animal vivant (Morzel et al., 2004, Laville et al., 2005, Sayd et al., 2006). Dans la dernière étude, la surabondance de fragments de créatine kinase et d'énolases dans des muscles de porc prélevés très tôt après la mort et générant une viande foncée nous a conduit à formuler une hypothèse selon laquelle cette protéolyse exacerbée était liée au métabolisme plus oxydatif par ailleurs traduit par la plus grande quantité d'enzymes mitochondriales de la chaîne respiratoire. La conséquence sur la qualité de viande n'est pas ici directe, mais le degré de protéolyse nous indique que nous sommes dans des conditions métaboliques particulières.
Le deuxième type d'informations que nous avons obtenues est l'identification de cibles (protéiques et structurales) de la protéolyse *post mortem* jusqu'alors non connues, appartenant au compartiment sarcoplasmique (α-crystalline, myokinase). Il s'agit aussi de protéines de la strie Z (protéines cypher et myozénine), ce qui contribue très probablement à l'affaiblissement de la strie Z pendant la maturation de la viande (Morzel et al., 2004).

Conclusions

Ces différentes études ont montré que le métabolisme énergétique du muscle est souvent impliqué de façon plus ou moins directe dans les particularités qualitatives des viandes et notamment les aspects liés à la texture. Le type de métabolisme, son niveau et la présence de protéines « protectrices » de la cellule (HSP, chaperones…) en interaction avec les événements précédant la mort de l'animal ont une influence sur l'état des protéines et par conséquent sur les qualités de la viande. Ce schéma fonctionnel est généralement bien admis pour expliquer les qualités de la viande de porcs ou de volaille, et pourrait s'appliquer également à la viande bovine.

Références bibliographiques

Asghar A., Bhatti A.R. 1987. Adv. Food Res., 31, 343-451.
Bee G., Guex G., Herzog W. 2004. J. Anim. Sci., 82, 1206-1213.
Bendall J.R., Wismer-Perdersen J. 1962. J. Food Sci., 27, 144-157.
Bidner T.D., Schupp A.R., Mohamad A.B., Rumore N.C., Montgomery R.E. Bagley C.P. McMillin. 1986. J. Anim. Sci., 63, 381-387.
Clop A., Marcq F., Takeda H., Pirottin D., Tordoir X., Bibé B., Bouix J., Caiment F., Elsen J-M., Eychenne F., Larzul C., Laville E., Meish F., Milenkovic D., Tobin J., Charlier C., Georges M. 2006. Nature Genetics, 38, 813-818.

Davies K.J.A. 1987. J. Biol. Chem., 262, 9895-9901.
Decker E.A., Xiong Y.L., Calvert J.T., Cru A.D., Blanchard S.P. 1993. J. Agric. Food Chem., 41, 186-189.
Fritz J.D.,Greaser M.L. 1991. J.Food Sci., 56, 607-610.
Gatellier P., Mercier Y., Renerre M. 2004. Meat Sci., 67, 385-394.
Hamelin M., Sayd T., Chambon C., Bouix J., Bibé B., Milenkovic D., Leveziel H., Georges M., Clop A., Marinova P., Laville E. Proteomics, en cours d'évaluation.
Hamelin M., Sayd T., Chambon C., Bouix J., Bibé B., Milenkovic D., Leveziel H., Georges M., Clop A., Marinova P., Laville E. 2006a. J. Anim. Sci., accepté pour publication.
Hamelin M., Forestier L., Milenkovic D., Laville E. 2006b. 11èmes JSMTV, Clermont-Ferrand, 4-5 octobre 2006.
Herrera-Mendez C.H., Becila S., Boudjellal A., Ouali, A. 2006. Trends Food Sci. Technol.,17, 394-405.
Ho C.Y., Stromer M.H., Robson, R.M. 1994. Biochimie, 76, 369-375.
Huff-Lonergan E., Parrish F.C., Robson R.M. 1995. J. Anim. Sci., 73, 1064-1073.
Joo S., Kaufmann R.G., Kim B.C., Park G.B. 1999. Meat Sci. 52, 291-297.
Kjærsgård I.V.H., Jessen F. 2004. 34th WEFTA meeting, Lübeck, Germany, 12th-15th September.
Kwasiborski A., Sayd T., Chambon C., Santé-Lhoutellier V., Rocha D., Terlouw C. 2006. 52nd ICoMST, Dublin, Ireland, 13th-18th August 2006.
Laville E., Sayd T., Santé-Lhoutellier V., Morzel M., Labas R., Franck M., Chambon C., Monin G. 2005. Meat Sci., 70, 167-172.
Lawrie R.A. 1998. The conversion of muscle to meat. Ch 5. (p. 96-118) In *"Lawrie's meat science"*, 6th edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge , England. Lebret, B., P. LeRoy, G. Monin, L. Lefaucheur, J. C. Caritez, A. Talmant, J. M. Elsen, and P. Sellier. 1999. J. Anim. Sci. 77:1482-1489.
Lebret, B., P. Massabie, R. Granier, H. Juin, J. Mourot, and P. Chevillon. 2002. Meat Science 62:447-455.
Liu G., Xiong Y.L. 1996. J. Agric. Food Chem., 44, 779-784.
Martinaud A., Mercier Y., Marinova P., Tassy C., Gatellier P., Renerre M. 1997. J. Agric. Food Chem., 45, 2481-2487.
Morzel M., Chambon C., Hamelin M., Santé-Lhoutellier V., Sayd T., Monin G. 2004. Meat Sci., 67, 589-696.
Morzel M., Chambon C., Lefèvre F., Paboeuf G et Laville E. 2006a. J. Agric. Food Chem., 54, 2997-3001.
Morzel M., Gatellier P., Sayd T., Renerre M., Laville E. 2006b. Meat Sci., 73, 536-543.
Morzel M., Sohier D., Van de Vis, H. 2003. J. Sci. Food Agric. 83: 19-28
Offer G.W. 1991. Meat Sci., 30, 157-184.
Papa I., Alvarez C., Verrez-Bagnis V., Fleurence J., Benyamin Y. 1996. J. Sci. Food Agric., 72, 63-70.
Sayd T., Morzel M., Chambon C., Franck M., Figwer P., Larzul C., Le Roy P., Monin G., Chérel P., Laville E. 2006. J. Agric. Food Chem., 54, 2732-2737.
Sentandreu M.A., Coulis G., Ouali A. 2002. Trends Food Sci. Technol., 13, 400-421.
Sigholt T., Erikson T., Rustad T., Johanen S., Nordvedt T.S. Seland A. 1997. J. Food Sci. 62, 898-905.
Stadtman ER. 1990. Free Radic Biol Med., 9, 315-325.
Takahashi K.1996. Meat Sci., 43, S67-S80.
Taylor R.G., Geesink G.H., Thompson V.F., Koohmaraie M., Goll D.E. 1995. J. Anim. Sci., 73, 1351-1367.
Terlouw, E.M.C., Porcher J., Fernandez X. 2005. J. Anim. Sci. 83:1664-1672.
Tsuchiya H., Kita S., Seki N. 1992. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 793-798.

SESSION 5

Bases biologiques de la qualité des viandes

Animateurs : Cécile Berri (Inra- Tours)
et Claudia Terlouw (Inra Clermont-Ferrand)

Communications orales

EFFET DE L'OXYDATION SUR L'AGREGATION ET LA PROTEOLYSE DES PROTEINES MYOFIBRILLAIRES

GATELLIER PH., SAYD T., CHELH I., SANTE LHOUTELLIER V.
Qualité des Produits Animaux, INRA, Centre de Theix, 63122 St Genès Champanelle, France

Introduction :

La tendreté de la viande est due, en grande partie, à la dégradation des structures myofibrillaires assurée par les enzymes de la protéolyse (cathepsines, calpaines et protéasome). L'expression de ces enzymes et leur régulation par différents inhibiteurs ont été largement étudiées. Par contre, l'effet des phénomènes oxydatifs sur l'évolution de la tendreté de la viande n'est pas connu. Au cours de la maturation, la production de radicaux libres, associée à une baisse de la protection anti-oxydante, va générer des oxydations importantes. L'oxydation peut induire des coupures de chaînes peptidiques. L'oxydation de certains acides aminés peut aussi entraîner des réactions de polymérisation et d'agrégation des protéines (Davies, 2001). L'oxydation des lipides conduit à la formation d'aldéhydes qui peuvent réagir sur les fonctions amines des protéines pour donner des bases de Schiff (Grune *et al*., 2004). Il a été montré, dans le domaine biomédical, que l'oxydation des protéines modifiait leur susceptibilité à la protéolyse et notamment que la formation d'agrégats protéiques diminuait l'action des protéases (Davies, 2001 ; Friguet *et al*., 1994). Dans le cas de la viande, les interactions entre oxydation et protéolyse sont encore mal connues. Nous présentons ici une étude permettant de mieux comprendre l'effet de l'oxydation des protéines myofibrillaires sur leur sensibilité à la protéolyse. Pour cela, les myofibrilles, préalablement oxydées par un système générateur de radicaux hydroxyles (OH°), ont été soumises à l'action d'une cystéine protéinase (la papaïne). La diminution d'activité de la protéase sur les myofibrilles oxydées a été corrélée à l'agrégation des protéines, évaluée par électrophorèse. Parmi les facteurs potentiellement responsables de l'agrégation des protéines, nous avons étudié la formation des ponts disulfures et dityrosines, ainsi que la production de bases de Schiff liée à l'oxydation des lipides. L'effet de l'oxydation sur l'hydrophobicité de surface des protéines a aussi été pris en compte dans la formation des agrégats.

Matériel et méthodes :

Les myofibrilles ont été extraites de muscle Long Dorsal de porc et oxydées à 37°C par le système Fe^{2+}/H_2O_2 générateur de radicaux libres OH° (de 0 à 20 mM). La protéolyse a été réalisée par la papaïne (0,01 mg papaïne / mg protéines myofibrillaires). L'oxydation et la protéolyse ont été réalisées dans un tampon phosphate 20 mM à pH 6. La vitesse de protéolyse a été estimée par mesure, par fluorescence en présence de fluorescamine, des peptides hydrolysés (Friguet *et al*., 1994). L'oxydation des thiols a été évaluée par réaction au dithiobis nitropyridine (Winterbourn, 1990). Les dityrosines ont été mesurées par fluorescence en milieu liquide (Davies *et al*., 1987) et les bases de Schiff par fluorescence frontale en milieu solide. L'hydrophobicité a été mesurée par fixation du bleu de bromophénol, BBP, (Chelh *et al*., 2006). L'électrophorèse a été réalisée sur gel de polyacrylamide (12%) en milieu dénaturant (SDS + mercaptoethanol).

Résultats et discussion :

La papaïne est une cystéine protéase végétale qui possède une forte homologie de séquence avec les cathepsines B, L, et H du muscle. Elle présente d'autre part un pH optimum de 6, voisin du pH ultime de la viande. C'est pour ces raisons que nous avons choisi cette enzyme dans notre système modèle. La figure 1 montre une chute de l'activité de la papaïne lorsque les myofibrilles ont été préalablement oxydées par le radical OH°. Cette chute est particulièrement marquée à partir de 0,3 mM en oxydant. Pour une concentration en oxydant de 20 mM, l'activité résiduelle de la papaïne n'est pratiquement plus mesurable. L'électrophorèse (figure 2) montre une disparition progressive des bandes de myosine et d'actine avec l'augmentation de la concentration en oxydant. Cette disparition est associée à la formation d'agrégats de haut poids moléculaire qui s'accumulent au sommet du gel. D'excellentes corrélations ont été mesurées entre les vitesses de protéolyse d'une part et l'intensité des bandes de myosine (r=0,92) et d'actine (r=0,87) d'autre part. L'agrégation des protéines myofibrillaires semble donc un facteur clé dans la diminution de leur susceptibilité à la protéolyse. A la vue de ces résultats, nous avons ensuite entrepris d'identifier les différents facteurs responsables de ces phénomènes d'agrégation. La figure 3 montre que la formation de ponts dityrosines, à partir de 1 mM en agent oxydant, peut expliquer en partie la formation de ces agrégats. Une production importante de ponts disulfures a aussi été observée dans cette étude. L'importance de l'oxydation des résidus tyrosine et cystéine sur la protéolyse est mise en évidence par les fortes corrélations mesurées (dityrosine/protéolyse r=-0,93 et thiol/protéolyse r=0,98). En modifiant la structure des protéines, l'oxydation a entraîné une augmentation de l'hydrophobicité d'environ 35% (figure 4). L'hydrophobicité intervient aussi dans les phénomènes d'agrégation par établissement d'interactions non covalentes entre les chaînes peptidiques. Enfin, des résultats récents nous ont montré la possible implication de l'oxydation des lipides dans l'agrégation des myofibrilles par l'intermédiaire de la formation de bases de Schiff. La part respective de ces différents facteurs d'agrégation sur la susceptibilité à la protéolyse reste à évaluer.

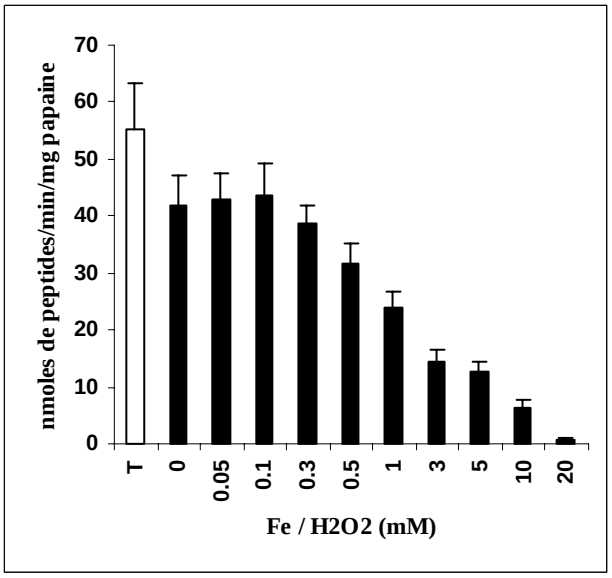


Fig. 1 : Effet de l'oxydation des myofibrilles sur la vitesse de protéolyse par la papaïne (n=6).

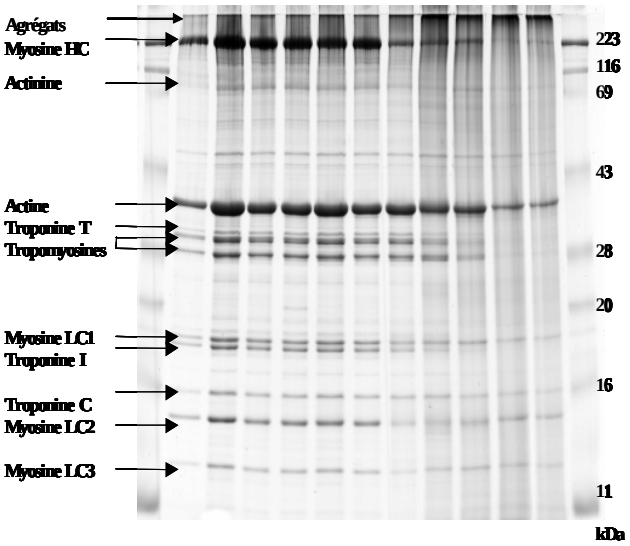


Fig. 2 : Electrophorèse des myofibrilles oxydées. (T = Témoin non oxydé et non chauffé) HC : chaînes lourdes ; LC : chaînes légères

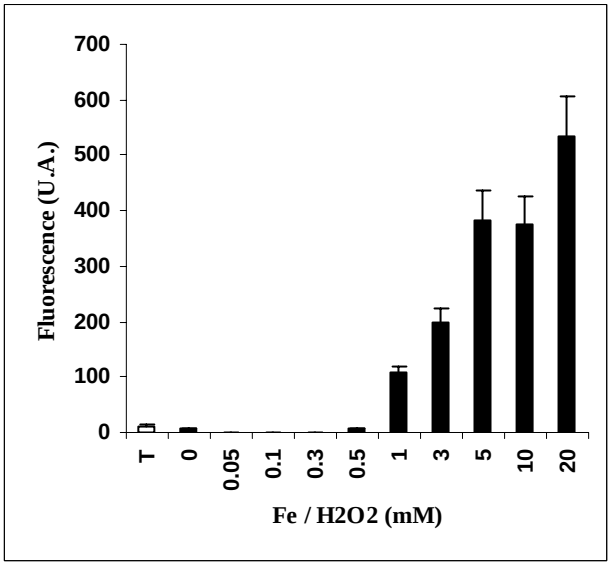


Fig. 3 : Formation de dityrosine lors de l'oxydation des myofibrilles (n=6).

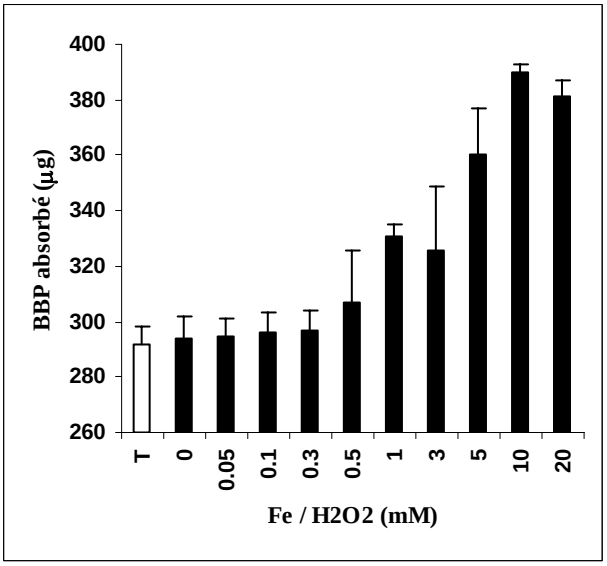


Fig. 4 : Augmentation de l'hydrophobicité lors de l'oxydation des myofibrilles (n=6).

Conclusion :

Les phénomènes d'agrégation, dus à l'oxydation des protéines myofibrillaires, aussi bien fibreuses (myosine) que globulaires (actine), jouent un rôle clé dans la non reconnaissance de celles-ci par les protéases et pourraient avoir une importance sur la variabilité de la tendreté de la viande généralement observée. Le contrôle des oxydations pourrait alors jouer un rôle positif sur le développement de la tendreté des produits. Ces résultats restent à confirmer sur muscle entier, avant de donner des recommandations aux professionnels de la filière viande.

Références :

Chelh I, Gatellier Ph, Santé-Lhoutellier V., 2006. Meat Sci., 74, 681-683.
Davies K.J.A., 2001. Biochimie, 83, 301-310.
Davies K.J.A., Delsignore M.E., Lin S.W., 1987. J. Biol. Chem., 262, 9902-9907.
Grune T., Jung T., Merker K., Davies K.J.A., 2004. Int. J. Biochem. Cell Biol., 36, 2519-2530.
Winterbourn C.C., 1990. Methods in Enzymology, 186, 265-272.

RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES DU COLLAGENE ET LE PERSILLE DE LA VIANDE BOVINE

LISTRAT A.[1*], PISSAVY A.L.[1], JURIE C. [1], LETHIAS C.[3], BOULESTEIX P.[2], HOCQUETTE J.F.[1]

[1] INRA, Herbivore Research Unit, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France
[2] UPRA France Limousin Sélection, Lanaud, 87220 Boisseuil, France
[3] IBCP, Centre national de la Recherche scientifique, Université de Lyon, Unité Mixte de Recherche 5086, Passage du Vercors, 69367 Lyon, Cedex 07, France

Introduction

Le persillé de la viande bovine est un critère important de la qualité de la viande en Amérique du nord, en Asie et en Australie. Il correspond aux lipides intramusculaires (LIM) visibles à l'œil nu. En Europe continentale, la teneur en LIM de la viande bovine est plus faible, mais elle joue néanmoins un rôle important dans la détermination de la flaveur (Goutefongea et Valin, 1978). Le nombre et le diamètre des adipocytes intramusculaires sont les principaux déterminants du contenu en LIM et par conséquent du persillé de la viande (Cianzo et al., 1985). En 2003, Hocquette et al. ont montré que l'activité métabolique des muscles était très différente entre les races Angus et Limousine qui ont une aptitude très différente à déposer des lipides dans leurs muscles. En complément de ce travail, l'hypothèse de la présente étude était que les caractéristiques du tissu conjonctif (dans lequel les adipocytes intramusculaires sont inclus) puissent différer entre les muscles des animaux Angus et Limousins mais aussi entre types de muscles au sein d'une même race. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons mesuré le contenu en collagène total et en collagènes de type XII et XIV de deux muscles de ces deux races, ces collagènes étant supposés jouer un rôle dans la différenciation des adipocytes (Ruehl et al., 2005).

Matériel et méthodes

Deux groupes de 10 bœufs de deux races différentes ont été utilisés (Hocquette et al., 2003) : les Angus qui produisent une viande très persillée et les Limousins qui produisent une viande avec un faible taux de LIM. Tous les animaux ont eu une période de finition longue (6 mois) avec un régime riche en céréales [blé (47-50%), triticale (17-18%), foin (14-18%), lupins (9%), énergie métabolisable : 12 KJ/kg MS, protéines totales : 15%] semblable pour les 2 races, ce qui leur a permis d'exprimer leur potentiel génétique pour le dépôt de LIM. Les animaux ont été abattus à 23 mois d'âge et les échantillons de deux types de muscle ont été prélevés : le *Rectus Abdominis* [RA] (oxydatif), et le *Semitendinosus* [ST] (glycolytique).
Le contenu en collagène total en mg par g de matière sèche dans les muscles a été déterminé à partir de la concentration en hydroxyproline (Listrat et al., 2004). Le contenu relatif en collagène de type XII et XIV a été mesuré par Western-blot. Chaque mesure a été réalisée en triple et les résultats ont été exprimés en unités densitométriques arbitraires.
Par ailleurs, les activités des enzymes caractéristiques du métabolisme oxydatif (isocitrate déshydrogénase [ICDH], cytochrome-*c* oxydase [COX]), d'une enzyme caractéristique du métabolisme glycolytique (phosphofructokinase [PFK]), les teneurs en protéines totales et en triglycérides (TAG) ainsi que les teneurs des muscles en transporteurs des acides gras spécifiques du muscle (H-FABP) ou des adipocytes intramusculaires (A-FABP) ont été mesurées dans tous les échantillons. Les résultats ont été décrits par Hocquette et al. (2003). Tous les résultats ont été exprimés par g de tissu frais (pour le contenu en TAG et en FABP) ou par mg de protéines de muscles (pour les activités enzymatiques).
Une analyse de variance incluant, comme effets fixes, le génotype, l'animal, le type de muscle et l'interaction entre le muscle et le génotype a été effectuée à l'aide de la procédure PROC GLM du logiciel SAS. L'effet du génotype a été testé par rapport à la résiduelle correspondant à l'effet animal. Une analyse de corrélation entre les différents paramètres a été également réalisée. Pour ce calcul, nous avons utilisé les données obtenues sur les 40 échantillons à notre disposition, c'est-à-dire pour les deux muscles provenant de 10 bœufs de deux races.

Résultats

Nous observons un effet race fortement significatif sur la teneur en collagène total et sur le contenu en collagène de type XIV ($P < 0,001$). Les teneurs en collagène total et en collagène de type XIV étaient respectivement 1,6 fois et 1,7 fois plus élevées pour la race Angus que pour la race Limousine. Pour le collagène de type XIV. Les teneurs en collagène XIV n'étaient pas différentes entre muscles. Pour le collagène de type XII, il n'y avait aucun effet de la race mais un effet du type de muscle ($P < 0,01$). Le contenu en collagène de type XII était en effet 2,5 fois plus élevé dans le muscle RA que dans le ST.
De plus, les muscles des Angus avaient un taux plus élevé de LIM, ainsi qu'un métabolisme plus oxydatif et moins glycolytique que les muscles des Limousins (Hocquette et al., 2003). En analysant toutes les données, nous avons observé des corrélations élevées et positives entre les teneurs en FABP et les quantités relatives en collagènes de type XII et XIV (Tableau 1), ces corrélations étant plus élevées pour le collagène XII que pour le collagène XIV.

	Collagen XIV	Collagen XII
TAG	+0,28t	**0,34***
A-FABP	+0,26t	**+0,48****
H-FABP	**+0,34***	**+0,62*****
COX	NS	**+0,48****
ICDH	**+0,33***	**+0,48****
PFK	-0,30t	NS
LDH	**-0,44****	NS

Tableau 1: Coefficients de corrélation entre les teneurs en collagènes de type XII et XIV et les caractéristiques métaboliques des muscles (NS: non significatif; t: $P < 0,10$; *: $P < 0,05$; **: $P < 0,001$).

Nous avons également observé des corrélations positives entre les teneurs des deux collagènes étudiés et l'activité d'une enzyme oxydative l'ICDH. Nous pouvons conclure de ces résultats que le collagène de type XII est lié au métabolisme des LIM (de par sa corrélation avec le contenu en A-FABP) et au métabolisme oxydatif (de par sa corrélation avec le contenu en H-FABP, en COX et en ICDH) qui diffèrent entre muscles. En revanche, le collagène de type de XIV est lié aux caractéristiques métaboliques du muscle (oxydatives et glycolytiques) qui distinguent les races Angus et Limousine.

Discussion et conclusions

Des études *in vitro* récentes sur une lignée de préadipocytes intramusculaires de bovin (Tahara et al., 2004) et sur des préadipocytes de la lignée 3T3-L1 (Ruehl et al., 2005) ont suggéré que les collagènes de type XII et XIV pouvaient avoir un lien avec l'adipogenèse. Nos résultats *in vivo* vont dans ce sens puisque les contenus en collagènes de type XII et XIV sont corrélés avec le contenu en A-FABP, un marqueur de la différenciation des adipocytes intramusculaires. De plus les collagènes de type XII et XIV sont associés à l'activité métabolique des muscles et au contenu en LIM de façon différente entre races et muscles. Ce résultat est conforme à l'idée que ces 2 collagènes pourraient avoir des fonctions distinctes.
La viande des Angus est considérée comme tendre et savoureuse. Ceci est lié à la capacité de cette race à déposer des LIM pendant la phase de finition des animaux. Nishimura et al. (1999) ont émis l'hypothèse que le tissu adipeux lors de sa mise en place à l'intérieur du muscle pouvait désorganiser la structure du tissu conjonctif. De plus, Nishiyama et al. (1994) ont suggéré que les collagènes de type XII et XIV pourraient jouer un rôle dans le processus de déformation de la matrice extracellulaire. En effet des résultats obtenus *in vitro* ont montré qu'ils pourraient diminuer ou augmenter les interactions entre les collagènes fibrillaires. Ceci aurait pour conséquence une matrice extracellulaire plus ou moins rigide. Nos résultats nous permettent de suggérer que la proportion plus élevée de collagène de type XIV dans les muscles des Angus pourrait favoriser le développement des LIM ou pourrait être la cause de la désorganisation du tissu conjonctif par les LIM.
A partir de nos résultats *in vivo*, nous pouvons donc présumer que le contenu en collagènes de type XII et XIV peut être associé au métabolisme des lipides intramusculaires. Nous confirmons ainsi les résultats obtenus *in vitro* dans des précédentes études (Tahara et al., 2004 ; Ruehl et al., 2005). Les collagènes de type XII et XIV contribuent probablement tous les deux à l'accumulation des LIM, mais par des mécanismes biologiques différents puisque le contenu en collagène de type XII diffère principalement entre les types de muscle et le contenu en collagène de type XIV diffère principalement entre les races.

Références bibliographiques

Cianzo D.S., Topel D.G., Whitehurst G.B., Beitz D.C., Self H.L., 1985. J. Anim. Sci., 60, 970-976.
Goutefongea R., Valin C., 1978. Ann. Tech. Agri., 27, 609-627.
Hocquette J.F., Jurie C., Ueda Y., Boulesteix P., Bauchart D., Pethick D.W., 2003. In: « Progress in Research on Energy and Protein Metabolism», Souffrant W.B., Metges C.C. (Editors), 2003. EAAP Publication N° 109, Wageningen Pers. (The Netherlands), pp. 513-516.
Nishimura T., Hattori A., Takahashi K., 1999. J. Anim.l Sci., 77, 93–104.
Tahara K., Aso H., Yamasaki T., Rose M.T., Takasuga A., Sugimoto Y., Yamagushi T., Takano S., 2004. Differentiation, 72, 113-122.
Ruehl M., Erben U., Schuppan D., Wagner C., Zeller A., Freise C., Al-Hasani H., Loesekan M., Notter M., Wittig B.M., Zeitz M., Dieterich W., Somasundaram R., 2005. J. Biol. Chem., 280, 38537-38543.
Listrat A., Hocquette J.F, 2004. Meat Sci., 68, 127-136.
Nishiyama T., McDonough A.M., Bruns R.R, Burgeson R.E., 1994. J. Biol. Chem., 269, 28193-28199.

Qualité de la chair chez des truites (*Oncorhynchus mykiss)* à haut et bas rendements en filet

BUGEON J.[1], LEFEVRE F. [1], CARDINAL M.[2] UYANIK A. [1], DAVENEL A[3]. HAFFRAY P.[4]
1 : INRA, SCRIBE, IFR 140, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France
2 : IFREMER, rue de l'île d'Yeu, BP 21105, 44311 Nantes cedex 3, France
3 : CEMAGREF, 17 avenue de Cucillé CS 64427, 35044, Rennes cedex, France
4 : SYSAAF section aquacole Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

Introduction

Le développement de la pisciculture repose sur l'amélioration des performances d'élevage et la maîtrise de la qualité des produits afin de répondre aux préoccupations des transformateurs (qualités technologiques) et des consommateurs (qualités sanitaire, nutritionnelle et sensorielle). En réponse à l'attente des consommateurs pour des produits à caractère festif ou faciles à préparer, la filière piscicole française s'est diversifiée avec la production de truites destinées à la vente en filets (800 g – 1,5 kg) et de grandes truites destinées au fumage (3-4 kg). En terme de performance d'élevage, l'amélioration des rendements de découpe, comme les rendements à l'éviscération, au filetage et au parage, est donc devenue un enjeu important pour la filière trutticole. Une voie d'amélioration des rendements repose sur la sélection génétique avec des géniteurs choisis sur la base de critères morphologiques non invasifs (externes et internes). Néanmoins la relation entre la performance des poissons en terme de rendements de découpe et la qualité finale du produit n'a pas été étudiée. Pourtant l'augmentation du rendement en filet est liée à un développement musculaire proportionnellement supérieur aux autres tissus. Ce développement musculaire peut avoir un impact sur la qualité de la chair en terme de composition et ou d'organisation du muscle. L'objectif de ce travail était d'analyser la qualité de la chair de deux lots de truites présentant de faibles ou forts rendements en filets, par des méthodes instrumentales (analyse macro et microscopique de l'organisation musculaire, composition, couleur, résistance mécanique) et sensorielle (test de profil sensoriel réalisé par un jury spécialisé).

Matériels et Méthodes

Des truites arc-en-ciel d'un poids moyen de 3,6 kg ont été triées visuellement à l'aide d'indicateurs morphologiques sur une chaîne d'abattage et de filetage industrielle (usine Viviers de France, Castets, Landes). Deux lots de 25 poissons présentant des forts (notés **H** pour haut rendement) ou faibles (notés **B** pour bas rendement) rendements de filetage ont ainsi été obtenus. Les poissons sont pesés puis éviscérés et filetés, une demi-darne est prélevée au niveau de la nageoire dorsale ainsi que des blocs de muscle pour l'analyse histologique. Les filets sont stockés 48h sur glace avant d'être analysés au laboratoire. La teneur en lipides de la chair est estimée à l'aide d'un dosage RMN au niveau de la « norwegian quality cut » (Toussaint, 2002). La résistance mécanique du filet cru et cuit au micro onde est mesurée sur un morceau de filet de 6,4 x 6,4 cm 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®. Pour l'analyse histologique, l'échantillon de muscle est 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. Des images macroscopiques de demi-darnes sont numérisées à l'aide d'un système d'acquisition vidéo. Ces images sont analysées avec le logiciel Visilog 5.4® pour Windows®, permettant pour les coupes histologiques de mesurer la surface de 200 à 300 fibres musculaires et pour les demi-darnes de mesurer la surface des tissus musculaires conjonctifs et adipeux. L'analyse sensorielle a été mise en œuvre par un jury entraîné et spécialisé sur les produits de la mer de l'IFREMER. Des tests de profil sensoriels ont été réalisés sur les produits cuits et fumés ; des critères d'odeur, aspect, flaveur et texture étaient notés sur une échelle continue de 0 à 10.

Résultats et discussion

Sur la base d'un premier tri visuel sur des critères morphologiques puis d'un second tri sur les rendements en filet, deux lots de poissons ont été obtenus. Ils ne présentent pas de différences de poids vif, en revanche un écart de 11 points est obtenu sur le rendement en carcasse et de 8 points sur le rendement en filet paré. Cette méthode de tri a donc bien permis d'obtenir deux lots de poissons présentant une croissance globale équivalente mais avec pour les H une proportion de muscle supérieure et cela au dépend de la masse viscérale (Tableau 1). L'analyse macroscopique des images de darnes montre que la surface musculaire est supérieure chez les H par rapport aux B, en revanche la répartition des masses musculaires dorsales et ventrales est équivalente (ratio proche de 1). Un développement plus important des viscères n'est donc pas associé à un développement relatif plus important de la musculature ventrale. Il apparaît également une proportion supérieure de myoseptes (tissu conjonctif intermusculaire) chez les H par rapport aux B. Les filets crus du lot H sont plus lumineux que ceux des B mais aucune différence n'apparaît sur les composantes chromatiques. La teneur en lipides de la chair n'est pas différente entre les lots. L'analyse de la structure microscopique du muscle ne fait apparaître aucune différence sur la taille des fibres du muscle blanc. Toutefois le nombre total de fibres sur une darne (estimé à partir de la surface des fibres mesurées et de la surface totale du muscle blanc) est significativement supérieure chez les H par rapport aux B. Le mécanisme de croissance hyperplasique (augmentation du

nombre des fibres musculaires) est donc plus important au cours du développement de l'animal pour les poissons H par rapport aux B mais cela n'a pas d'impact sur la taille des fibres musculaires au stade grande truite.
Sur le produit cru la force de compression du filet est supérieure chez les H par rapport aux B en partie caudale mais aucune différence n'est obtenue à l'avant du filet. Sur le produit cuit, ce sont les poissons B qui présentent des résistances mécaniques supérieures aux H quelle que soit la zone de mesure (Tableau 1). Le jury d'analyse sensorielle n'a pas détecté sur les filets cuits de différence significative sur les différents critères d'odeur, aspect, texture et flaveur, sauf pour la flaveur pomme de terre significativement supérieure chez les H par rapport aux B (1,96 contre 1,39, p<0,01). Sur le poisson fumé seul des différences d'aspect du filet apparaissent avec pour les H une chair moins orange, une intensité de couleur de surface plus faible mais une plus grande importance de stries blanches (myoseptes) par rapport au lot B (4,37 contre 3,33, p<0,01). Ce résultat est cohérent à celui obtenu en vision numérique sur la surface des myoseptes. Le tissu conjonctif intermusculaire, infiltré par de nombreux adipocytes, est un site de stockage des lipides (Zhou, 1995). L'absence de différence de teneur en lipides ne permet pas d'affirmer ici que la surface supérieure des myoseptes chez les H est liée à une présence accrue d'adipocytes. En revanche les différences de résistance mécanique de la chair en zone caudale ainsi que l'inversion des effets après cuisson permet de supposer que les deux lots présentent des différences de teneur en tissu conjonctif. En effet ce tissu participe à la fermeté du produit cru et sa proportion est plus importante en zone caudale (Montero, 1989). De plus, la faible stabilité thermique du collagène (protéine fibreuse principale du tissu conjonctif) entraîne sa dénaturation à la cuisson conduisant à obtenir une relation inverse entre la teneur en tissu conjonctif et la fermeté du produit cuit (Hatae, 1986).

Tableau 1 : Rendements de découpe et paramètres de qualité de la chair chez des lots de truites à bas et haut rendement en filet, moyenne±écart type, n=15, sauf pour le poids vif et les rendements n=25 NS : non significatif, * p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001.

	Rendement filet	**Bas : B**	**Haut : H**	**ANOVA**
Poids	**Poids vif (g)**	3543±461	3655±394	NS
Rendement de découpe	**Rendement carcasse (%)**	74,7±3,8	85,8±1,8	***
	Rendement filet paré (%)	41,7±3,6	49,9±1,8	***
Composition	**Teneur en lipides chair (% poids frais)**	8,3±1,4	9,4±1,7	NS
Couleur	**L* Luminosité chair crue**	43,5±1,6	46,1±2	***
	Composante rouge a* chair crue	13,8±1	13,3±0,7	NS
	Composante jaune b* chair crue	18,3±1,4	18,1±0,9	NS
Structure du muscle	**Diamètre moyen fibre muscle blanc (µm)**	115,9±15,6	113,2±14	NS
	Nombre totale de fibre/darne (en milliers)	343±86	419±104	*
	Proportion de myoseptes (% de la chair)	12,3±1,3	13,5±0,8	**
Résistance mécanique	**Résistance spécifique caudale crue (N/g)**	33,1±4,6	39,2±6	**
	Résistance spécifique antérieure crue (N/g)	7,4±0,9	6,7±1	NS
	Résistance spécifique caudale cuit (N/g)	19,2±4,6	15,1±3,3	**
	Résistance spécifique antérieure cuit (N/g)	22±4,8	17,9±3,7	*

Conclusions

Un tri sur des critères morphologiques permet de discriminer des poissons à forts ou faibles rendements en filet. Ces différences sont notamment liées à un développement différentiel des masses viscérales et de la masse musculaire mais sans déséquilibrer la répartition dorso-ventrale des masses musculaires. A ces deux niveaux de rendement sont associées des différences de qualité de la chair en terme de résistance mécanique. Ces différences restent toutefois modérées et n'ont pas été perçues par un jury d'analyse sensorielle sur le produit cuit et fumé. En revanche, le niveau de rendement est associé à une différence d'aspect des filets en terme de luminosité et de structure macroscopique (importance des myoseptes), suggérant une relation entre le développement de la masse musculaire et celui du tissu conjonctif intermusculaire.

Références bibliographiques

Hatae K., Tobimatsu A.,Takeyama M., Matsumoto J.J., 1986. Bull. Jpn .Soc. Sci. Fish., 52, 2001-2007.
Montero P., Borderias J., 1989. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 189,530-533.
Toussaint C. A., Médale F., Davenel A., Fauconneau B.,Haffray P., Akoka S., 2002. J. Sci. Food. Agric., 82, 173-178.
Zhou S., Ackman R.G., Morisson C.,1995. Fish Physiol.Biochem., 14,171-178.

Remerciements

Les auteurs remercient Philippe Loisel et Mireille Cambert du CEMAGREF pour leur aide et l'analyse de la teneur en lipides des darnes, Camille Knockaert et Josiane Cornet de l'IFREMER, Vincent Gayet, Thierry Kernéis, Gilles Paboeuf de l'INRA ainsi que David Parfouru de la société Viviers de France pour leur aide dans l'obtention des poissons et des mesures.

EFFET DE L'AGE SUR LES DEPOTS DE LIPIDES DANS LE FILET DE CANARD MULARD

CHARTRIN P.[1], BORDEAU T. [1], BERNADET M.D.[2], GUY G.[2], HOCQUETTE J.F. [3], RIDEAU N.[1], MOUROT J.[4], DUCLOS M.J.[1], BAEZA E.[1]

[1] Station de Recherches Avicoles, INRA Tours, 37380 Nouzilly
[2] Unité Expérimentale des Palmipèdes à Foie Gras, INRA Artiguères, 40280 Benquet
[3] Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA Theix , 63122 St Genès Champanelle
[4] Unité Systèmes d'Elevage Nutrition Animale et Humaine, INRA, 35590 St Gilles

Introduction

Chez le canard, le développement post-éclosion du tissu adipeux intramusculaire n'a jamais été étudié. Seuls Baéza et al. (2000 ; 2002) ont analysé la teneur et la composition des lipides du filet entre 56 et 91 jours chez le canard mulard et entre 56 et 84 jours chez le canard de Barbarie. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'effet de l'âge sur le dépôt des lipides intramusculaires dans le filet (quantité et qualité, localisation) de canard mulard en relation avec le métabolisme énergétique du muscle, le niveau des lipides circulants et la capacité de captage de ces métabolites par le muscle estimée par l'activité de la lipoprotéine lipase (LPL).

Matériels et méthodes

Nous avons utilisé des canards mulards mâles fournis par la société Grimaud (Roussay, France). Les animaux ont été élevés et nourris à volonté à la station expérimentale INRA d'Artiguères. A l'âge de 1, 14, 42, 75, 84, 91 et 98 jours, 10 canards ont été choisis au hasard, mis à jeun pendant une nuit puis pesés. Un prélèvement de sang sur EDTA a été réalisé et les plasmas ont été stockés à -20°C. Les canards ont ensuite été sacrifiés, saignés puis un filet a été prélevé et pesé. Un échantillon de *Pectoralis major* a été congelé dans l'isopentane refroidi à l'azote (Chartrin et al., 2005) et stocké à -80°C en attente des analyses histochimique et enzymatique. Un échantillon a également été stocké à -20°C pour l'analyse de la composition chimique.
Les teneurs plasmatiques en triglycérides, phospholipides et cholestérol ont été dosées par des méthodes enzymatiques en utilisant des kits fournis par Bio-direct et Bio-Mérieux. Les teneurs en lipides totaux et triglycérides dans les fibres musculaires ont été estimées selon le type de fibres (αR et αW) comme décrit par Chartrin et al. (2005). Les intensités de coloration au noir soudan et au rouge à l'huile ont été exprimées en luminance (Lc NS et Lc RH). Les luminances sont corrélées négativement avec les teneurs en lipides et en triglycérides des fibres. La surface relative occupée par les adipocytes sur des sections transversales de muscle a été évaluée selon Chartrin et al. (2005) et exprimée en %.
La teneur en lipides du filet a été déterminée selon Folch et al. (1957). Les classes de lipides ont été déterminées par chromatographie en couche mince selon Mares et al. (1983). La composition en acides gras a été déterminée après méthylation des lipides (Morrison et Smith, 1964), par chromatographie en phase gazeuse comme décrit par Chartrin et al. (2006). Les activités de la lipoprotéine lipase (LPL), la citrate synthase (CS), la β-hydroxyacyl CoA déshydrogénase (HAD) et la lactate déshydrogénase (LDH) ont été mesurées dans le *P. major* selon Hocquette et al. (1998) et Bass et al. (1969), respectivement.
Les résultats ont été analysés avec la procédure GLM de SAS (1989).

Résultats et discussion

La cinétique de dépôt post-éclosion des lipides dans le filet peut être divisée en deux périodes, avant et après l'âge de 42 jours. L'âge a un effet très marqué entre 14 et 42 jours, période pendant laquelle la croissance musculaire est maximale (poids du muscle x 27, aire de section transversale des fibres musculaires αR et αW x 15 et x 18, respectivement).
Au cours du développement embryonnaire le métabolisme énergétique de l'oiseau est basé sur l'utilisation des lipides stockés dans le jaune d'œuf (Klasing, 1998). Les teneurs en lipides (2,9 g/100 g de muscle), phospho-lipides et cholestérol (50 et 29% des lipides totaux) du muscle sont donc élevées à l'âge de 1 jour. L'acide oléique représente 41% des acides gras totaux. L'activité LPL est élevée à 1 et 14 jours permettant au muscle de capter les lipides plasmatiques circulants à des niveaux plus importants (résultats non présentés) au cours de cette période.
A 1 jour, les lipides sont surtout stockés dans les adipocytes dont la surface relative sur des coupes transversales de muscle est supérieure à celle mesurée chez des animaux plus âgés. La quantité de lipides totaux et de triglycérides stockés dans les fibres est très faible. L'activité des enzymes impliquées dans le métabolisme énergétique (HAD, CS et LDH) est très faible.
Entre 1 et 42 jours, les teneurs du filet en lipides, phospholipides, cholestérol et acide oléique diminuent fortement. Les triglycérides stockés dans les adipocytes sont transférés dans les fibres musculaires afin de satisfaire leurs besoins énergétiques pour la croissance. L'activité LPL décroît alors que celles de CS, HAD et LDH augmentent.
Entre 42 et 98 jours, la teneur en lipides intramusculaires s'accroît du fait essentiellement d'un dépôt de triglycérides (58% des lipides totaux à 98 jours) qui sont riches en acides gras saturés et mono-insaturés. Les lipides sont stockés tout

d'abord dans les fibres αR et αW dont la teneur en triglycérides s'accroît jusqu'à l'âge de 75 et 84 jours respectivement puis dans les adipocytes dont la surface relative s'accroît à partir de 75 jours. Les activités HAD et LPL augmentent entre 42 et 75 jours puis se stabilisent. Celles de la LDH et de la CS augmentent jusqu'à 91 et 98 jours, respectivement.

Tableau : Effet de l'âge sur le poids du filet (g), sa teneur en lipides totaux, triglycérides, phospholipides, ester de cholestérol, cholestérol libre (mg/100 g muscle), acides gras saturés, mon- insaturés et poly-insaturés (AGS, AGMI, AGPI, g/100 g muscle), sur les activités de la lactate déshydrogénase (LDH), de la β-hydroxyacyl Co A déshydrogénase (HAD), de la citrate synthase (CS en UI/g muscle) et de la lipoprotéine lipase (LPL en nmol/min/g muscle), sur la surface (%) occupée par les adipocytes sur une coupe de section transversale de muscle, sur l'aire de section transversale (AST, μm^2) des fibres musculaires et sur leur luminance due à la présence de triglycérides (Lc RH) ou de lipides totaux (Lc NS) de canards mulards (moyenne, n = 10)

Age (jours)	1	14	42	75	84	91	98
Poids du filet	$0,31^{d}$	$2,47^{d}$	$67,35^{c}$	$252,54^{b}$	$308,96^{a}$	$310,65^{a}$	$313,65^{a}$
Lipides totaux	2930^{b}	2300^{d}	1270^{e}	2740^{c}	2830^{bc}	3110^{b}	3890^{a}
Triglycérides	619^{d}	1140^{c}	170^{e}	1146^{c}	1347^{bc}	1569^{b}	2263^{a}
Phospholipides	1468^{ab}	898^{d}	929^{d}	1225^{c}	1362^{b}	1401^{ab}	1520^{a}
Ester de cholestérol	385^{a}	11^{b}	3^{c}	1^{c}	nd	nd	nd
Cholestérol libre	458^{a}	251^{c}	166^{d}	368^{b}	121^{d}	140^{d}	107^{d}
AGS	$0,98^{b}$	$0,78^{bc}$	$0,49^{c}$	$0,98^{b}$	$1,01^{b}$	$1,37^{a}$	$1,40^{a}$
AGMI	$1,37^{ab}$	$1,12^{bc}$	$0,45^{d}$	$1,03^{c}$	$1,10^{bc}$	$1,25^{b}$	$1,63^{a}$
AGPI	$0,57^{bc}$	$0,40^{c}$	$0,33^{c}$	$0,73^{b}$	$0,72^{b}$	$0,76^{b}$	$0,86^{a}$
LDH	87^{f}	135^{e}	460^{d}	588^{b}	569^{b}	696^{a}	535^{c}
HAD	$2,49^{c}$	$3,20^{c}$	$2,21^{c}$	$14,78^{a}$	$11,75^{ab}$	$12,22^{ab}$	$9,85^{b}$
CS	$6,63^{d}$	$5,72^{d}$	$9,45^{c}$	$10,75^{bc}$	$11,68^{ab}$	$12,48^{ab}$	$12,75^{a}$
LPL	565^{a}	573^{a}	93^{c}	236^{b}	190^{bc}	201^{bc}	160^{bc}
Surface adipocytes	$2,71^{a}$	$2,11^{a}$	$0,54^{c}$	$0,22^{c}$	$0,39^{c}$	$1,02^{bc}$	$1,33^{b}$
AST fibres αR	8^{c}	14^{c}	212^{b}	625^{ab}	659^{ab}	682^{a}	767^{a}
Lc NS	123^{a}	114^{a}	110^{a}	79^{b}	75^{b}	75^{b}	90^{b}
Lc RH	137^{a}	96^{b}	87^{b}	67^{c}	62^{c}	61^{c}	83^{b}
AST fibres αW	12^{d}	30^{d}	550^{c}	1561^{b}	1525^{b}	1678^{b}	2143^{a}
Lc NS	124^{a}	120^{a}	128^{a}	120^{a}	78^{b}	107^{a}	101^{ab}
Lc RH	143^{a}	99^{b}	93^{b}	77^{bc}	62^{c}	71^{bc}	88^{bc}

Fibres αR et αW : fibres à contraction rapide, oxydo-glycolytiques et glycolytiques respectivement. Les luminances sont corrélées négativement avec les teneurs en lipides et triglycérides des fibres.
a-f : effet significatif de l'âge, $P < 0,05$; nd = non détecté

Références

Baéza E., Salichon M.R., Marché G., Wacrenier N., Dominguez B., Culioli J., 2000. Brit. Poult. Sci. 41, 300-07.
Baéza E., Dessay C., Wacrenier N., Marché G., Listrat A., 2002. Brit. Poult. Sci. 43, 560-568.
Bass A., Brdiczka D., Eyer P., Hoper P., Pette D., 1969. European J. Biochem., 10, 198-206.
Chartrin P., Bernadet M. D., Guy G., Mourot J., Duclos M. J., Baéza E., 2005. Reprod. Nutr. Dev. 45, 87-99.
Chartrin P., Bernadet M.D., Guy G., Mourot J., Duclos M.J., Baéza E., 2006. Anim. Res. 55, 231-244.
Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chemist. 226, 497-509.
Hocquette J.F., Graulet B., Olivecrona T., 1998. Comp. Biochem. Physiol. Part B, 121, 201-212.
Klasing KC. Lipids. In: Klasing C.K. (éd.), Comparative Avian Nutrition, Cab International, Davis, USA, pp. 171-200.
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.
SAS. 1989. In: SAS/STAT user's guide, SAS Institute Inc., Cary, NC.

ETUDE DE L'ORGANISATION SPATIALE DU TISSU CONJONCTIF PAR ANALYSE D'IMAGE POUR LA PREVISION DE LA TENDRETE DU MUSCLE BOVIN

EL JABRI[1] M., ABOUELKARAM[2] S., REGRAG[1] A., DAMEZ[2] J-L., ROUX[1] D.

1. Laboratoire de Mathématiques, Université Blaise Pascal.63177 Aubière, France. 2. INRA, Centre de Theix, F-63122 Saint Genès-Champanelle, France.

Introduction

De nombreuses études ont permis d'identifier les composants du muscle qui jouent un rôle primordial dans la tendreté de la viande de boeuf; cependant sa variabilité en reste jusqu'à présent encore inexpliquée (Hedrick *et al.*, 1994). Parmi les attributs de qualité, la tendreté est la plus importante pour le consommateur. Le tissu conjonctif du muscle intervient de manière importante dans la tendreté de la viande et présente d'importantes variations dans sa constitution et dans son organisation spatiale. Le tissu conjonctif se compose principalement de collagène dont le contenu et la distribution contribue de manière significative à la dureté intrinsèque de la viande. Plusieurs auteurs ont menés des études sur des outils permettant la prévision de la qualité de la viande par l'analyse d'image. L'étude par analyse d'image du tissu conjonctif a permis d'estimer le contenu en collagène total (Abouelkaram *et al.*, 2003). Lu *et al.* (1998) ont utilisé la couleur et le persillé dans des modèles sommaires de prévision de la tendreté. Li *et al.* (1999) ont amélioré ces techniques pour la prévision de la tendreté de la viande bovine, en y incorporant les paramètres de texture, permettant ainsi d'obtenir des valeurs de R^2 atteignant 0.70.
Le but de la présente étude est de développer des outils de prévision de la tendreté de la viande en utilisant des techniques d'analyse d'image. On démontre ici que la tendreté est sensiblement liée aux caractéristiques du tissu conjonctif. Pour cela, à partir des images de muscle de bovin, nous avons extrait les paramètres les plus significatifs liés au tissu conjonctif qui ont été ensuite introduits dans les modèles de prévision de la tendreté.

Matériel et méthodes

Les analyses ont été effectuées sur des échantillons de muscles prélevés sur de jeunes taureaux de race Charolaise. Trois muscles ont été étudiés : *Longissimus Dorsi* LD (n=20), *Semitendinosus* ST (n=19), *Triceps-Brachii* TB (n=17). Les animaux étaient âgés de 15, 19 et 24 mois. Le protocole expérimental a été décrit dans Jurie *et al.* (2005). Les qualités sensorielles (tendreté, jutosité et flaveur) ont été déterminées après 14 jours de maturation par un panel entraîné selon Drandsfield *et al.* (2003).
Les images ont été acquises grâce à un banc d'acquisition d'images avec une camera CCD noir et blanc (Sony MACC77) pilotée par un PC, muni d'un éclairage en lumière polarisée blanche et dans l'UV (figure 1).

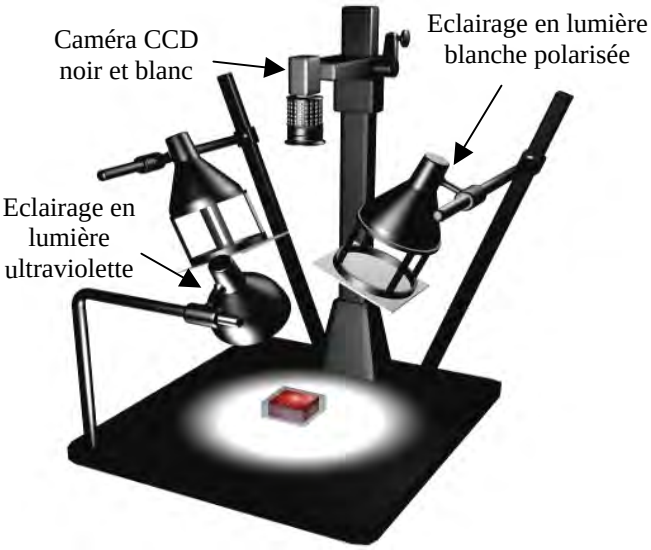


Figure 1 : Banc d'imagerie.

Les dimensions des images sont de 530 x 521 pixels. Celles-ci ont été traitées après l'application de seuillage permettant l'extraction d'objets. Un algorithme de segmentation a été employé pour obtenir des objets identifiés appartenant au réseau de tissu conjonctif (figure 2). Une classification de ces objets suivant leur taille a permis d'extraire les paramètres de l'image nécessaires à la caractérisation des échantillons de viande.
Les paramètres retenus sont représentatifs de l'organisation spatiale du tissu conjonctif en termes de taille des éléments constituant le réseau (perimysium). Ceux-ci correspondent aux classes d'objets issus des images obtenues à partir des échantillons de viande acquises avec les éclairages en lumière dans le visible (20 variables) et dans l'UV (20 variables). La tendreté a été analysée avec des données obtenues par chacun des éclairages ainsi que par la combinaison des deux catégories de variables (n=40).

Les données ont été analysées avec le logiciel SAS. Les modèles de prévision de la tendreté, établis en utilisant les paramètres d'image sélectionnés, ont été déterminés par la méthode de régression linéaire multiple (MLR). Les variables les plus appropriées pour la MLR ont été préliminairement sélectionnées. Le modèle final qui a été retenu pour la prévision de la tendreté a été déterminé selon un critère de maximisation du R^2 ($p<0.05$).

Résultats et discussion

Dans cette étude nous avons comparé plusieurs résultats d'analyses statistiques effectuées sur la tendreté. Ce facteur a été expliqué selon l'âge des animaux. Les meilleurs résultats de la régression ont été obtenus par la combinaison de deux types de paramètres. Le tableau 1 donne le R^2 obtenu en employant les six premières variables qui maximisent le R^2. Le choix du nombre de paramètres a été basé sur un critère de validation croisée (leave one out). Cette méthode permet d'éviter l'introduction de variables supplémentaires dans le modèle de régression qui provoquerait un sur-ajustement (over-fitting). La figure 3 présente les droites des valeurs estimées par les modèles de régression par rapport aux valeurs mesurées, pour les échantillons des animaux suivant les trois âges.

Résultats obtenus avec les paramètres combinés		
	R^2 (%)	
Âge (mois)	Modèle	Validation
15	**85.85**	**68.12**
19	**90.98**	**72.60**
24	**93.33**	**78.60**

Tableau 1 : Coefficients de détermination des modèles de régression à 15, 19 et 24 mois.

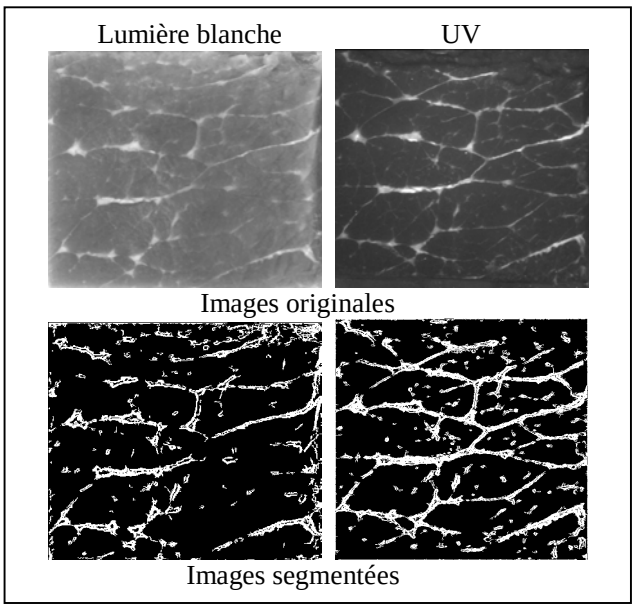


Figure 2 : Segmentation des images éclairées en lumière blanche et UV.

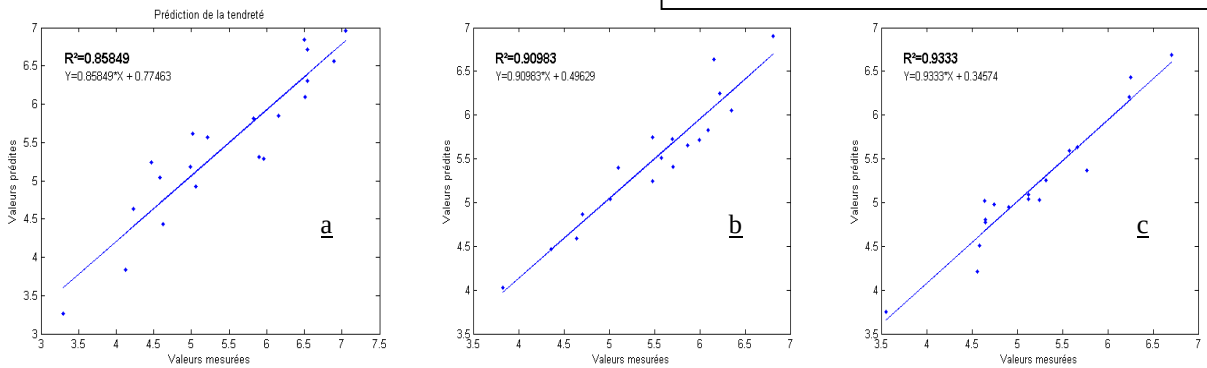


Figure 3 : Valeurs évaluées par le modèle en fonction des valeurs déterminées par le panel. Les courbes correspondent aux animaux de a 15, b 19, et c 24 mois.

Conclusions

Les résultats présentés ici montrent qu'il est possible d'évaluer la tendreté des viandes bovines en utilisant les modèles développés dans cette étude. Les paramètres d'image qui ont été employés pour élaborer ces modèles fournissent une information sur la distribution de la trame de tissu conjonctif. Ils sont, en grande partie, dépendants de la méthode de segmentation d'image. Ces modèles peuvent être améliorés en affinant la méthode de segmentation d'image et en optimisant la classification des tailles d'objet.

Références bibliographiques

Abouelkaram S., Berge P., Hocquette J. F., Culioli J. and Listrat A., 2003. Sciences des Aliments, 231, 166-170.

Dransfield E., Martin J.F., Bauchart D., Abouelkaram S., Lepetit J., Culioli J., Jurie C., Picard B., 2003. Animal Science, 76, 387-399.

Hedrick, H. B., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Judge, M.D., & Merkel, R. A., 1994. Dubuque, Iowa: Kendal / Hunt publishing company.

Jurie C., Martin J.F., Listrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B., 2005. Animal Science, 80, 257-263.

Li. J., Tan, J., Martz, F., & Heymann, H., 1999. Journal of Meat science, 53, 17-22.

Lu, J., Tan, J., Gao, X., & Gerrard, G.E., 1998. ASAE Mid-Central Conference (paper no. MC98131), St. Joseph, MI: ASAE.

SESSION 5

Bases biologiques de la qualité des viandes

Animateurs : Cécile Berri (Inra- Tours)
et Claudia Terlouw (Inra Clermont-Ferrand)

Posters

ETUDE DE L'INFLUENCE DES PARAMETRES DE PRE-ABATTAGE SUR LE PH DE CARCASSES DE PORCS

SINDIC M*., MERTENS G., RENKENS M.**, DEROANNE C.***
***Unité de technologie des Industries Agroalimentaires, FUSAGx,**
Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgique
****Detry S.A., route de Merckhof, 110, 4880 Aubel, Belgique**

Introduction

L'objectif de cette étude est de dresser à partir d'un grand nombre de données un état des lieux général des niveaux de pH à l'abattoir porcin d'Aubel et de comparer les données obtenues par rapport à une précédente étude réalisée en 1999. Les différents critères susceptibles d'influencer le pH sont enregistrés afin de dégager les paramètres les plus significatifs.

Matériel et méthodes

12.600 porcs provenant de croisements entre des truies hybrides de différents types de Landrace X Large White et de verrats Piétrains belges stress + pour la plupart, ont été abattus entre le 28 juillet 2004 et le 23 février 2005 à l'abattoir d'Aubel (Detry Aubel).
Pour une question pratique de positionnement sur la chaîne d'abattage, le pH1 a été mesuré 35 min post mortem dans le muscle Semi membranosus 4 à 6 cm au-dessus de l'os du quasi à 2-3 cm de profondeur selon un angle de 45° par rapport à l'horizontale. La mesure de pH est effectuée avec un pH-mètre de type WTW pH 197 muni d'une sonde de pénétration Mettler-Toledo LoT406-M66DXK-S7/25. La mesure du pH ultime (pHu) s'effectue lorsque le pH est stabilisé, c'est-à-dire de 18 à 24 heures après la mort de l'animal, au même endroit anatomique que la mesure de pH35.
Afin de classer de manière officielle les carcasses, l'abattoir porcin d'Aubel est équipé d'un capteur Gras/maigre (CGM) (Sydel, Lorient, France) et d'une caméra PIC 2000 (Rovi-Tech, Presles, Belgique) pour mesurer la conformation.
Pour chaque porc abattu, nous disposons des données suivantes : génétique, caractéristiques de l'élevage, présence d'une aire d'attente avant l'embarquement des porcs, temps de mise à jeun, heures de chargement et d'arrivée du camion à l'abattoir, jour d'abattage, chauffeur du camion, préposé au déchargement, heure de passage de chaque carcasse aux différents postes de l'abattoir, poids chaud, « classe commerciale » (15 classes commerciales en relation avec SEUROP), conformation de la carcasse, épaisseur du lard.
Des analyses de variance et de corrélations ont été réalisées avec le logiciel MINITAB.

Résultats et discussion

Etat des lieux

Tableau 1: Récapitulatif des mesures de 1999 et des mesures de 2004-2005

	Année	*Nbre porcs*	*Moyenne*	*Ecart-type*	*Min.*	*Max.*	*% PSE* (pH35 < 6)	% acide (pHu < 5,50)	% à tendance DFD (pHu ≥ 6)
pH35	1999	3.888	6,28 a	0,34			13,30	-	-
	2004-2005	12.606	6,23 b	0,30	5,32	7,05	21,50	-	-
pHu	1999	840	5,56 a	0,14			-	27,40	-
	2004-2005	5.029	5,60b	0,16	5,30	6,88	-	26,60	2,90

ab : les lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes au seuil de 5% (Student)

Le tableau 1 montre l'état de la situation concernant les niveaux généraux de pH et les fréquences d'apparition des défauts PSE, acides ou à tendance DFD selon les critères ITP pour les carcasses de l'abattoir d'Aubel (de juillet 2004 à février 2005). En comparant les mesures prises dans le cadre de cette étude aux mesures prises en 1999, il s'avère que le niveau de pH35 a significativement baissé, alors que le niveau de pHu a significativement augmenté. La fréquence d'apparition de viandes PSE (pH1 < 6,0) a augmenté de façon importante alors que la fréquence d'apparition de viandes acides (pHu < 5,50) est restée sensiblement constante. Ces deux défauts de qualité de viande apparaissent sur plus de 20 à 25% des carcasses. Il faut noter que la fréquence des viandes à tendance DFD est faible.
Un grand nombre de critères de variation retenus au départ, tels que le jour d'abattage, l'aliment, le nombre de saisies, le chauffeur du camion, le préposé au déchargement, la région d'élevage, etc., n'ont pas permis d'établir de corrélation avec les mesures de pH effectuées.
Les équations suivantes reprennent les paramètres significatifs au seuil de 5%, dans leur ordre d'importance :

pH35 = 5,699 + 0,163 conf – 0,450 trans/repos + 0,00211 poids + 0,175 repos + 0,236 transport + 0,00158 %viande

pHu = 5,915 – 0,107 trans/repos + 0,124 repos + 0,227 transport – 0,00476 %viande – 0,0061 classe comm.

Le pH35 est donc expliqué par 6 facteurs : la conformation de la carcasse, le temps cumulé du transport et du repos, le poids chaud de la carcasse, le temps de repos avant l'abattage, le temps de transport et le pourcentage de viande de la carcasse (la classe n'entre pas dans le calcul). Le pHu est quant à lui expliqué par 5 facteurs : le temps cumulé du transport et du repos, le temps de repos, le temps de transport, le pourcentage de viande de la carcasse et la « classe commerciale » (la conformation et le poids chaud n'entrent pas dans l'équation).

Il est étonnant d'observer cette recrudescence de carcasses PSE alors que les efforts de sélection réalisés ces dernières années s'orientent vers la suppression de la sensibilité au stress. Différentes raisons pourraient être invoquées comme l'évolution des conditions d'abattage et notamment l'augmentation des cadences (310 porcs/h en 2005 contre 220 en 1999) qui pourrait influencer la vitesse de chute de pH.
Afin de compléter les informations données par ces équations, les corrélations de chacun des 7 facteurs, individuellement par rapport au pH35 et au pHu, ont été calculées.
Le pH35 est très significativement corrélé avec la conformation (R=0,220), la classe (R=0,153), le temps de repos (R=,054), le temps de transport (R=0,047), le pourcentage de viande (R=-0,102) et le temps de transport + repos (R=-0,159). La conformation est le facteur le plus influent, individuellement, sur le pH35. Plus la valeur de l'indicateur de conformation ou la classe augmente, c'est-à-dire moins le porcs est musclé, plus le pH35 augmente et moins l'on risque d'obtenir une viande de type PSE (défaut de viande très fréquent avec des porcs culards type Piétrain).
Le pHu est très significativement corrélé avec le temps de repos (0,091), le temps de transport (0,087), le % de viande (-0,025) et le temps cumulé de transport et repos (-0,093).
Les valeurs des coefficients de corrélation peuvent paraître faibles, mais il faut tenir compte du grand nombre de valeurs prises en compte dans le calcul (12.600 pour le pH35 et 5.000 pour le pHu).

Les relations entre les variables mesurées ont été évaluées par analyse en composantes principales (PCA) (figures 1 et 2). La première composante est corrélée positivement avec la conformation (QUACON), la « classe commerciale » (QUADETRY) et l'épaisseur du lard (CGMGRA). Une corrélation négative est observée avec le pourcentage de viande (QUAVIA). La composante 3 quant à elle est fortement corrélée avec le pHu, le pH 35, le temps de transport et le temps de repos.

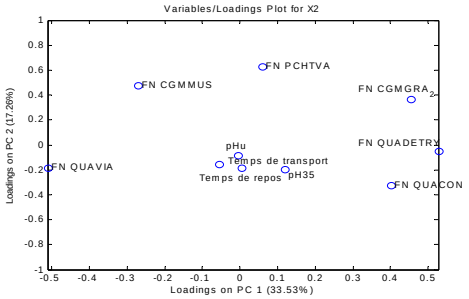


Figure 1

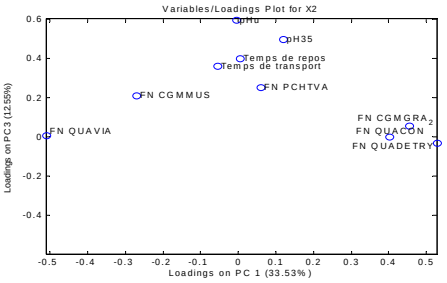


Figure 2

Conclusions

L'important suivi de pH réalisé de juillet 2004 à février 2005 indique une diminution du pH35 par rapport à l'année 1999 avec en conséquence une augmentation de la part de carcasses PSE.. Le pHu s'est lui élevé, alors que la proportion de viandes acides s'est stabilisée.
Les facteurs étudiés ayant le plus d'influence sur le pH35 sont la conformation de la carcasse, le temps cumulé de transport et de repos, le pourcentage de viande de la carcasse, le temps de repos et le temps de transport des porcs. Le pHu, quant à lui, est influencé par le temps cumulé de transport et de repos, le temps de repos, de transport, le pourcentage de viande de la carcasse et la classe commerciale.

INFLUENCE DES FACTEURS ANTE-MORTEM SUR LA QUALITE TECHNOLOGIQUE DES FILETS DE POULET DE TYPE STANDARD ET LABEL.

GIGAUD V.[1], DEBUT M.[1], BERRI C.[2], LEBIHAN-DUVAL E.[2], TRAVEL A[1], BORDEAU T.[2]

[1] ITAVI – Station de Recherches Avicoles – BP1 – 37380 NOUZILLY
[2] INRA – Station de Recherches Avicoles – 37380 NOUZILLY

Introduction

La consommation de volaille se maintient globalement depuis quelques années grâce à la diversification des modes de production (standards, labels, certifiés, biologiques...) mais aussi des formes de présentation (découpes, blancs de poulet...). Parmi ces produits "élaborés", les viandes de découpe requièrent des exigences de qualité spécifiques, parfois différentes de celles recherchées pour les carcasses entières. La qualité technologique des viandes découpées est étroitement reliée au métabolisme musculaire post-mortem (Berri, 2000). De récentes études montrent que ce dernier dépend à la fois des propriétés des muscles mais aussi du niveau de stress des animaux avant abattage (Debut et al., 2003, 2004). Cette étude avait pour objectif d'estimer en condition industrielle l'incidence des manipulations des animaux juste avant leur mort (du déchargement à l'accrochage) sur la qualité des filets découpés en intégrant la variabilité des types génétiques produits en France (Label et standard).

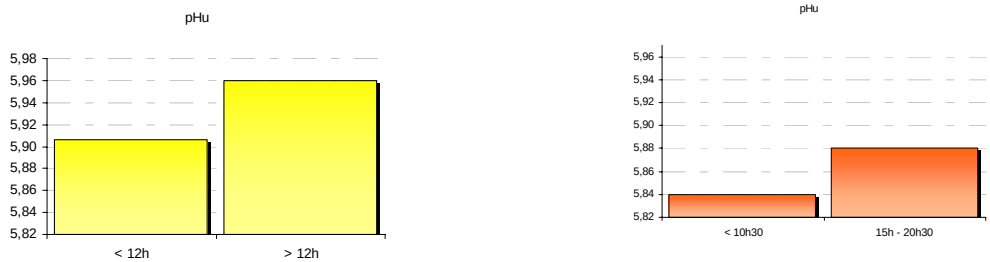
Matériel et Méthodes

L'étude a porté sur huit lots de poulets standards d'un croisement Ross PM3 provenant d'élevages différents et abattus à l'âge classique de 6 semaines. Les mesures de qualité ont été réalisées sur environ 280 filets par lot, soit un total de 1820 filets analysés. Douze lots de poulets labels ont été abattus à l'âge réglementaire de 12 semaines. Les mesures ont été réalisées sur 50 filets par lot. Afin d'évaluer les conditions ante-mortem depuis l'élevage, des informations sur la durée de mise à jeun mais aussi sur les conditions de ramassage et la durée totale du transport ont été recensées. A l'abattoir, les lots ont été suivis dès leur arrivée jusqu'à la saignée. Les heures de début et de fin de chacune des étapes précédant l'abattage ont été notées. Ainsi, nous avons calculé les temps d'attente du parking jusqu'au poste d'accrochage. La température a été évaluée à l'aide d'un thermomètre KIMO VTH. La qualité technologique des filets découpés a été évaluée après ressuage par la mesure du pH ultime à 24h post-mortem (pHu) et de la couleur de la viande (L*, a*, b*) avec un spectrocolorimètre; ces deux critères sont en effet connus pour être fortement corrélés à la qualité technologique de la viande. Une augmentation de la luminosité correspond à une viande plus pâle ; une augmentation des indices a* et b* correspond à une viande plus colorée dans le rouge et le jaune, respectivement. Les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SAS version 9.1.3 (SAS institute, 1999). Les effets des conditions environnementales ont été testés par une analyse de variance en utilisant la procédure General Linear Model (GLM). Dans le cas d'un effet significatif, les moyennes ont été comparées par le test de Scheffe.

Résultats et discussion

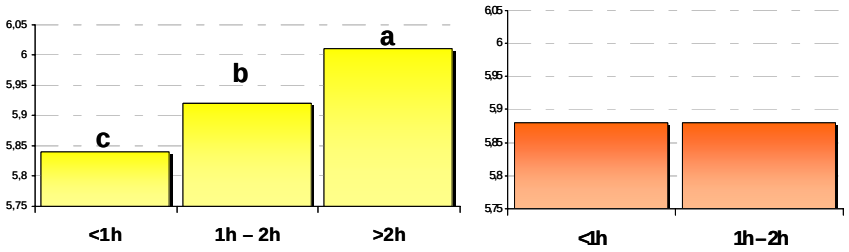
Cette étude nous permet d'estimer pour la première fois la variabilité intra et inter lots des indicateurs de qualité technologique en milieu industriel. . La variabilité du pHu au sein d'un même lot d'abattage apparaît forte puisque l'on observe aussi bien des valeurs de pH faibles (< 5,8) ou au contraire élevées (> 6,2). Cette observation a des conséquences pratiques importantes, notamment quant à la possibilité de prédire la qualité technologique pour la globalité d'un lot (pour l'orienter ensuite vers différentes utilisations ou adapter les procédés technologiques). Elle suggère aussi qu'à conditions ante-mortem équivalentes, il subsiste chez les poulets une forte variabilité individuelle, peut être liée au génotype, aux conditions d'élevage ou à des différences de réactivité au stress entre individus. Il existe par ailleurs un effet significatif du « lot » d'abattage sur les moyennes de pHu, la variabilité des moyennes inter lots étant plus forte en production standard qu'en label. De plus nous observons que les poulets labels ont un pHu en moyenne inférieur à celui des standards, qui s'accompagne d'une luminosité plus élevée chez le label. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de la variabilité observée. En répartissant les filets par classe de durée de mise à jeun, nous constatons qu'une durée de mise à jeun trop importante entraîne un pHu significativement plus élevé quel que soit le génotype (Figure 1).

Figure 1 : Impact de la durée de mise à jeun sur le pHu chez le poulet standard (à gauche) et label (à droite).



Ces premiers résultats indiquent que la durée de mise à jeun est un facteur à mieux maîtriser, en particulier chez les standards qui présentent plus fréquemment des fortes valeurs de pH. Le transport est également un facteur de stress pour les animaux et il a été à ce titre plusieurs fois étudié en rapport avec son effet sur le bien être animal (Début, 2004). Les poulets standards sont sensibles à l'effet du transport qui pour ces animaux peut varier de 20 minutes à plus de 2h30 (Figure 2). Plus la durée de transport est importante et plus le pHu est élevé. Ceci pourrait correspondre à un épuisement des réserves énergétiques du muscle pendant le transport, aboutissant à une augmentation du pHu. Ces résultats sont cohérents avec ceux déjà observés pour le muscle de la cuisse (Debut et al, 2003) sur des poulets labels et standards. Dans notre étude, nous n'avons pas remarqué d'effet de la durée du transport sur le pHu chez le label, mais il est à noter que celle-ci est obligatoirement limitée à 2h (ou à 100km) par le cahier des charges des poulets Label Rouge (Figure 2).

Figure 2 : Impact de la durée du transport sur le pHu chez le poulet standard (à gauche) et le label (à droite).



Les poulets standards apparaissent assez sensibles aux variations des temps d'attente. Tout comme pour la durée du transport, une durée d'attente longue (supérieure à 4h00) entraîne un pHu plus élevé et une luminosité plus faible. Pour les poulets labels, il existe bien un effet de la durée d'attente mais il semblerait que des pHu plus acides soient observés à la fois pour des durées d'attente courte ou longue.
Au travers de cette étude nous avons pu commencer à estimer l'effet du froid sur le pHu et la couleur des filets. Chez les poulets standards, les pHu apparaissent plus faibles pour une température inférieure à 10°C pendant la période pré-abattage, ce qui pourrait être du à une moindre dépense des réserves en glycogène à ces températures. Les filets sont aussi plus clairs, moins rouges et moins jaunes quand la température est très basse. La température apparaît donc comme un paramètre à prendre en considération pour la qualité technologique des produits, même si son effet est encore mal estimé. De plus, c'est un élément difficilement maîtrisable dans les conditions de terrain où de fortes variations thermiques peuvent être observées. Pour l'étude concernant les labels nous avons recensé des températures en moyenne plus faibles que pour les standards. Pour les animaux soumis aux températures très froides (<0°C), nous avons observé une augmentation du pHu et une diminution de la clarté, sans doute liées à un épuisement des réserves énergétiques chez les oiseaux pour lutter contre le froid.

Conclusion

Cette étude apporte des premières données quant à la variabilité intra et inter lots des critères de qualité (pHu et couleur) en conditions industrielles. Chez les poulets standards en particulier, il existe une forte variabilité des caractéristiques de pHu et de couleur de la viande au sein d'un même lot d'abattage. Nos résultats indiquent que certaines conditions ante-mortem telles que la durée de mise à jeun, le transport, ou la durée d'attente influencent ces caractéristiques. Il nous parait donc important de poursuivre ce type d'étude pour affiner ces premiers résultats et identifier les points critiques à maîtriser. Nos résultats indiquent toutefois que les effets imputables aux différents traitements ante-mortem ne permettent à eux seuls d'expliquer la forte variabilité observée. L'effet de facteurs d'amont tels que la génétique, le mode d'élevage ou l'alimentation doit donc lui aussi être mieux évalué pour établir à terme des cahiers des charges pour la qualité.

Bibliographie

Berri C., 2000, Variability of sensory and processing qualities of poultry meat, WPSJ, 56 (3), 209-224;
Debut et al., 2004, Impacts des conditions de pré-abattage sur la qualité technologique de la viande de volaille. Sciences et Techniques Avicoles, 48, 4-13.
Debut et al 2003, Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and pre-slaughter stress conditions. Poultry Science, 82, 1829- 1838.
Le Bihan- Duval et al, 2001, Estimation of the genetic parameters of meat characteristics and of their genetic correlations with growth and body composition in an experimental broiler line. Poultry Science, 80: 839 – 843.

Remerciement

Cette étude a été financée par l'OFIVAL, que nous remercions.

EFFET DU DELAI ENTRE ABATTAGE ET DECOUPE SUR LA QUALITE DES FILETS DE POULETS LABELS, CERTIFIES ET STANDARDS

BERRI C.[1], LE BIHAN-DUVAL E.[1], LEPETIT J.[2], BAEZA E.[1], BORDEAU T.[1], PEYRIN F.[2], D. CORMIER[2], V. GIGAUD[3]

[1]INRA, Unité de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly ; [2]INRA, Unité Qualité des Produits Animaux, 63122 Saint-Genès-Champanelle ; [3]ITAVI, Unité de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly

Introduction

La consommation de viande de poulet se maintient globalement depuis quelques années grâce à la diversification des formes de présentation (morceaux découpés, jambons...). Parmi ces produits "élaborés", les morceaux découpés représentent plus d'un tiers des ventes. Les défauts de qualité les plus fréquemment identifiés pour ce type de produits concernent la dureté, le manque de jutosité et la texture fibreuse (" 60 millions de consommateurs ", Février 2004). Les délais de découpe pratiqués en industrie sont très variables (de 2 à 24h) et leur impact sur la qualité n'est pas maîtrisé. L'objectif de notre étude est d'évaluer l'incidence de 3 délais de découpe précoces (2h, 4h, 6h) et d'un délai de découpe tardif (24h) sur la qualité des filets de poulets des trois principales productions françaises : standard, certifiée et Label.

Matériel et Méthodes

Animaux et abattage : les poulets étudiés étaient des mâles issus de 3 lignées (Hubbard) : une lignée à croissance lente de type Label, une à croissance rapide de type standard et le croisement de type certifié issus des deux premières lignées. L'élevage a duré 12, 8 et 6 semaines respectivement pour les Labels, les certifiés et les standards. L'abattage de 96 animaux par type génétique a eu lieu sur une journée à l'abattoir expérimental de l'Unité de Recherches Avicoles après 8 h de jeune.
Prélèvements et mesures : Le jour de l'abattage, nous avons mesuré la durée des battements d'ailes des poulets entre l'accrochage et l'entrée dans le bac d'électronarcose et le pH à 15 minutes (pH15) du filet. Après cette mesure, les carcasses ont été transférées dans la chambre froide. Au temps **2 h**, **4 h** et **6 h** après l'abattage, les filets droits ont été découpés, pesés et des mesures de température et de pH ont été réalisées. Les filets ont ensuite été mis en sachet et de nouveau transférés en chambre froide à +2°C jusqu'au lendemain. Le lendemain de l'abattage, les filets non découpés (**24 h**) ont été prélevés. Sur la totalité des filets droits découpés, le pHu et la couleur (L*, a*, b*) ont été mesurés. Au bout de 48 h de ressuage à +2°C, nous avons évalué l'exsudat. A 6 et 7 jours post-mortem, nous avons déterminé les pertes à la cuisson (15 minutes à 85°C) puis la résistance maximale au cisaillement des filets cuits avec une cellule de Warner Bratzler. Nous avons par ailleurs mesuré la longueur des sarcomères des filets découpés par analyse d'image sur fibres isolées selon la méthode de Peyrin et al. (2006). Cette méthode repose sur la transformée de Fourrier de données obtenues à partir de photos de fibres musculaires isolées.
Analyses statistiques : Elles ont été réalisées en utilisant les procédures GLM et CORR du logiciel SAS.

Résultats

Les filets Labels se distinguent par une vitesse de chute de pH plus rapide (pH15 inférieur ; Tableau 1). Cette particularité des Labels est en grande partie expliquée par des durées de battements d'ailes plus longues sur la chaîne d'abattage (2 et 4 fois plus longs que celles des certifiés et des standards, respectivement). Il existe en effet de fortes corrélations négatives (-0.4 à -0.6, $P<0.001$ selon le génotype) entre la durée des battements d'ailes et le pH15 musculaire. Au moment de la découpe (à 2, 4 et 6h), le pH des filets Labels est logiquement le plus bas. Concernant la température du filet au moment de la découpe elle varie aussi entre types génétiques, les poulets certifiés plus lourds (2,9 Kg) refroidissent moins vite que les poulets Labels et standards (2,6 Kg environ). Les filets Labels se caractérisent par une couleur plus sombre et moins jaune et surtout une résistance maximale au cisaillement supérieure à celles des filets standards et certifiés.

Le délai entre abattage et découpe influence modérément les caractéristiques de couleur de la viande et les pertes par exsudation. Il affecte surtout la résistance maximale au cisaillement des filets cuits qui diminue régulièrement quand le délai de découpe augmente, quel que soit le génotype. Cette diminution est très importante entre 2 et 4h pour les trois types de poulets. Même s'il n'existe pas d'interaction entre les effets « découpe » et « génotype », la résistance des filets diminue aussi entre 4 et 6 h chez les standards et les certifiés alors qu'elle n'évolue quasiment plus à partir de 4 h chez les Labels (Figure 1).

Les corrélations entre d'une part les pH et la température à la découpe, et d'autre part la résistance au cisaillement au sein de chaque type génétique et pour chaque temps de découpe confirment que le phénomène de « cold-shortening », qui

intervient lorsque le pH musculaire est élevé et la température basse au moment de la découpe, est à l'origine de la dureté supérieure des filets découpés précocement. Ceci est confirmé par l'analyse de la longueur des sarcomères qui montre à la fois un effet « génotype » (P<0.0001) et « délai de découpe » (P<0.0001) (Tableau 2). Les filets des poulets standards présentent globalement une longueur de sarcomères inférieures à celles des autres types génétiques et la longueur des sarcomères augmentent avec le délai entre abattage et découpe. Il existe une interaction entre les effets génotype et découpe (P=0.015) : l'incidence du délai de découpe sur la contraction des sarcomères est plus marquée chez les Labels et les certifiés que chez les standards. La contraction des sarcomères est directement liée à l'augmentation de la résistance au cisaillement des filets cuits dans le cas des Labels et des certifiés (corrélations négatives d'environ -0.4, P<0.05) : plus les sarcomères sont courts plus la viande est dure.

Conclusions

Nos observations confirment l'importance du délai entre abattage et découpe sur la texture des filets de poulet, en particulier pour les Labels et les certifiés. Un délai minimal de 4 h entre abattage et découpe est généralement préconisé pour éviter le « cold-shortening » chez les poulets. Il apparaît pourtant que les variations de vitesse de chute de pH sont une source de variabilité de la texture de la viande quand la découpe a lieu 4 h post-mortem. Il sera donc nécessaire d'adapter les recommandations aux différents types génétiques qui présentent parfois des métabolismes post-mortem très différents (Berri et al., 2005). Il reste maintenant à valider ces premiers résultats en milieu industriel, mais aussi à estimer par des analyses sensorielles l'impact pour le consommateur des variations de tendreté observées.

Tableau 1 : Effet du génotype et du délai de découpe sur les caractéristiques du muscle P. major du filet (n=24).

	Standard	Certifié	Label	Effet génotype	2 h	4 h	6 h	24 h	Effet délai	G x D
Poids (g)	215	206	167	***	195	197	192	199	NS	NS
pH_{15}	6.63^a	6.66^a	6.49^b	***	6.63^a	6.58^{ab}	6.56^b	6.61^{ab}	*	NS
$pH_{découpe}$	6.29^a	6.29^a	6.15^b	***	6.47^a	6.11^b	6.15^b	-	***	***
$T°_{découpe}$	7.6^b	8.7^a	7.6^b	***	13.6^a	6.7^b	3.6^c	-	***	NS
pH_u	5.84	5.84	5.83	NS	5.84	5.84	5.84	5.83	NS	NS
L*	53.0^a	50.6^b	49.0^c	***	50.2^b	50.9^{ab}	51.6^a	50.8^{ab}	*	NS
a*	-0.61^a	-1.05^b	-0.86^b	***	-0.82^b	-0.82^b	-0.54^a	-1.19^c	***	NS
b*	10.66^a	9.29^b	8.77^c	***	9.39^{bc}	9.76^{ab}	9.91^a	9.22^c	***	NS
Exsudat (%)	1.25^a	0.93^b	1.06^b	***	0.99^b	1.00^b	0.77^c	1.55^a	***	*
Perte cuisson (%)	11.6^a	9.3^c	10.5^b	***	10.7	10.7	10.4	10.1	*	NS
WB[1] (N)	19.7^b	20.8^b	23.5^a	***	28.6^a	22.4^b	18.0^c	16.8^c	***	NS

[a, b, c] Pour un facteur et au sein d'une lignée, les moyennes avec une même lettre ne diffèrent pas significativement.
[1]WB = Charge maximale au cisaillement (Warner-Bratzler)

Figure 1 : Résistance au cisaillement du filet cuit (n=24).

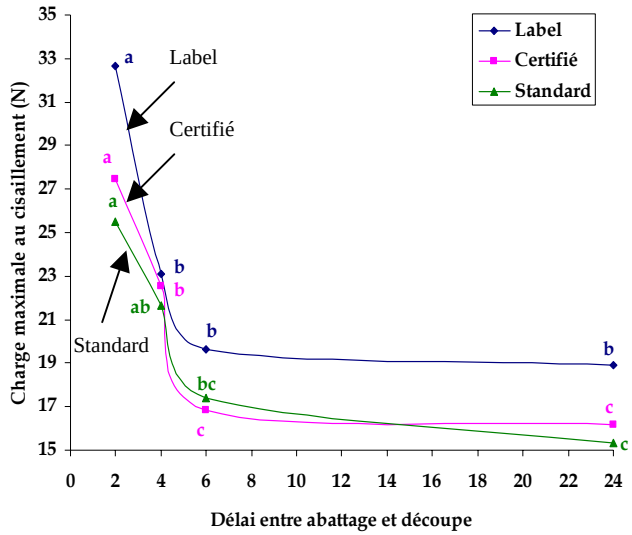


Tableau 2 : Longueur des sarcomères du muscle P. major (n=8).

Découpe	Standard	Certifié	Label
2 h	1.69 ± 0.14	1.66 ± 0.14^b	1.66 ± 0.09^b
4 h	1.62 ± 0.07	1.65 ± 0.13^b	1.80 ± 0.20^{ab}
6 h	1.65 ± 0.11	1.80 ± 0.20^b	1.89 ± 0.15^a
24 h	1.77 ± 0.16	1.98 ± 0.11^a	1.82 ± 0.13^{ab}
Effet délai	NS	***	***

[a, b, c] Au sein d'une colonne, les moyennes avec une même lettre ne diffèrent pas significativement.

Références

Peyrin F., Cormier D., Lepetit J. (2006) Journées de la mesure et de la métrologie. Balaruc les Bains. 9-12 octobre.

Berri, C., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Arnould, C., Boutten, B., Sellier, N., Baéza, E., Jehl, N., Jégo, Y., Duclos, M.J., Le Bihan-Duval, E. 2005. British Poultry Science, 46 : 572-579.

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier de l'OFIVAL

Impact de la teneur en lipides musculaires et de la triploïdie sur la texture de la chair de truite arc-en-ciel : Intérêt de lignées divergentes sélectionnées

LEFEVRE F.[1], BUGEON J.[1], CARDINAL M.[2], LABBE L.[3], MEDALE F.[4], QUILLET E.[5]

1 : INRA, SCRIBE, IFR 140, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex France
2 : IFREMER, rue de l'île d'Yeu, BP 21105, 44311 Nantes Cedex 3, France
3 : INRA, PEIMA, Barrage du Drennec, 29450 Sizun, France
4 : INRA, UMR NuAGe, 64310 Saint-Pée-sur-Nivelle, France
5 : INRA, Laboratoire de Génétique des Poissons, 78350 Jouy-en-Josas, France

Introduction

La maîtrise de la qualité des produits, pour répondre aux souhaits des transformateurs et des consommateurs, est un des enjeux actuels de la filière piscicole. Parmi les critères de qualité, la maîtrise des propriétés organoleptiques, comme la texture, est un enjeu important. La texture de la chair des poissons dépend principalement des caractéristiques des composants protéiques (protéines myofibrillaires, collagènes) et de leur organisation structurale (taille des fibres musculaires, réseau de tissu conjonctif). Néanmoins, la quantité de lipides du tissu musculaire, déterminante par ailleurs pour la qualité nutritionnelle de la chair, peut affecter les qualités texturales du produit.
Les deux principales voies de maîtrise de l'adiposité globale des animaux, et donc de la teneur en lipides du tissu musculaire, sont la sélection génétique et la teneur en lipides de l'aliment. Un aliment plus riche en lipides conduit à une proportion plus importante de lipides dans la composition corporelle, une teneur plus élevée en lipides de la chair et peut conduire ou non selon les études à des variations de texture (Johansson et al., 2000, Regost et al., 2001, Robb et al., 2002). Chez la truite arc-en-ciel, une sélection divergente sur la teneur en lipides musculaires a été réalisée grâce à un appareil (Torry Fish Fat Meter®) qui permet de mesurer indirectement, de façon non invasive, la teneur en lipides musculaires. Après deux générations de sélection, un écart significatif de la teneur en lipides musculaires est obtenu (Quillet et al., 2005). L'objectif de ce travail était d'évaluer les conséquences de cette sélection sur la teneur en lipides musculaires, sur la texture de la chair chez des truites arc-en-ciel diploïdes et triploïdes. La triploïdisation, induite à un stade précoce, est utilisée en élevage commercial pour stériliser les poissons et s'affranchir des effets négatifs de la maturation sexuelle sur la qualité des produits.

Matériels et Méthodes

Les conséquences de trois générations de sélection sur la teneur en lipides musculaires ont été évaluées au stade portion (290g), à 1 an (age de la sélection) sur la qualité de la chair de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Les mesures ont été réalisées sur 4 groupes expérimentaux : 2 lots diploïdes **M2** et **G2** (M = lignée maigre, G = lignée grasse) et 2 lots triploïdes : **M3** et **G3**. La teneur en matières sèches et la résistance mécanique de la chair (mesure de compression - cisaillement avec un outil de type presse de Kramer sur un Instron®) ont été évaluées sur un morceau de filet, prélevé en position médiane, cru et après cuisson au four micro-onde (450W, jusqu'à une température à cœur de 55-60°C) à 48h *post-mortem*. Les profils sensoriels des filets cuits (micro-onde, 600W, jusqu'à une température à cœur de 55-60°C) ont été réalisés par un jury entraîné de 18 personnes. Pour l'analyse histologique, un échantillon de muscle blanc profond est prélevé en zone médiane (aplomb de la nageoire dorsale) fixé au Carnoy, déshydraté puis inclus dans la paraffine. Des coupes histologiques (10µm) sont colorées au rouge Sirius et Fast green à 0,1% dans une solution saturée d'acide picrique. La surface de 300 à 500 fibres musculaires est mesurée sur les images numérisées à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image (Visilog 5.4® pour Windows®).

Résultats et Discussion

Aucun effet de la sélection ni de la triploïdie sur le poids des poissons n'a été observé.
La sélection sur la teneur en lipides musculaires conduit de façon cohérente à un effet sur la teneur en matière sèche de la chair, les poissons de la lignée G ayant des taux de matière sèche significativement supérieurs à ceux de la lignée M ($p<0,001$, Figure 1).
La taille des fibres musculaires est affectée par la sélection, les poissons de la lignée M ayant des fibres de diamètre moyen inférieur à ceux de la lignée G ($p<0,05$, Tableau 1) et donc une proportion de petites fibres plus importante ($p<0,05$). Toutefois cet effet n'est significatif que chez les poissons triploïdes. L'effet le plus important observé sur la taille des fibres musculaires est celui de la ploïdie, les poissons triploïdes ayant des fibres de diamètre moyen supérieur ($p<0,001$) et une proportion de grandes fibres plus importante ($p<0,001$). Cet effet de la ploïdie sur la taille des fibres musculaires a déjà été observé chez les salmonidés (Sigurgisladottir et al., 2001).
La sélection a un effet sur la résistance mécanique de la chair crue : les poissons ayant les teneurs en lipides musculaires les plus élevées (G) ont une chair crue moins résistante ($p<0,05$) que ceux ayant des teneurs en lipides plus faibles (M). Cet effet n'est plus observé après cuisson (Tableau 2). De même, en analyse sensorielle, aucune différence de fermeté n'est perçue après cuisson (Tableau 3). Par contre les paramètres sensoriels liés à l'hydratation et la teneur en gras sont

significativement affectés par la sélection (Tableau 3). La moindre résistance mécanique de la chair chez les truites de la lignée G s'explique par une proportion plus importante des tissus adipeux intra (infiltration d'adipocytes au niveau du périmysium) et péri-musculaires (tissu adipeux associé aux myoseptes) qui sont peu résistants, et en conséquence, une moindre proportion des tissus "protéiques" résistants (fibres musculaires et tissu conjonctif). Après cuisson cet effet n'est pas significatif bien que la même tendance demeure en analyse instrumentale comme en sensorielle. Cet effet limité des lipides dans le déterminisme de la texture de la chair explique les résultats controversés de la littérature (Johansson et al., 2000, Regost et al., 2001, Robb et al., 2002).
Un effet négatif de la triploïdie sur la fermeté de la chair est mesuré, en analyse instrumentale sur la chair crue et cuite (Tableau 2), les poissons 2n ayant une chair plus résistante que les 3n. La même tendance, mais non significative, est observée en analyse sensorielle. Ce résultat peut être directement relié à la différence observée sur la taille des fibres musculaires. Un plus faible diamètre moyen des fibres est, en effet, classiquement associé à une fermeté accrue (Bugeon et al., 2003).
Aucune interaction significative entre l'effet de la sélection et de la ploïdie n'a été observée (p>0,05).

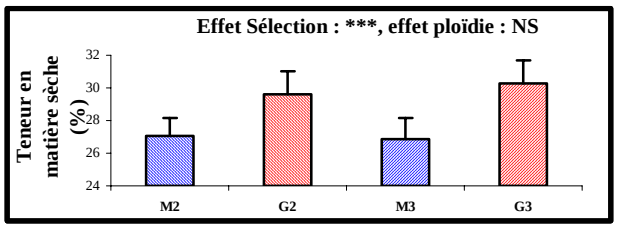


Figure 1 : Effet de la sélection et de la ploïdie sur la teneur en matière sèche de la chair, moyenne ± écart-type, n=15, NS : non significatif, *** : p<0,001.

Tableau 1 : Effet de la sélection et de la ploïdie sur la taille des fibres musculaires blanches, moyenne ± écart type, n=15, NS : non significatif, * p<0,05, *** p<0,001.

	M2	G2	M3	G3	M/G	2n/3n
Diamètre moyen (µm)	45,4 ± 3,9	46,3 ± 3,9	50,0 ± 5,7	54,7 ± 5,1	*	***
% fibres < 20 µm	22,6 ± 5,4	21,8 ± 5,1	22,1 ± 5,5	16,6 ± 5,9	*	NS
% fibres > 100 µm	7,6 ± 5,0	9,3 ± 4,8	15,3 ± 6,8	18,5 ± 4,2	NS	***

Tableau 2 : Effet de la sélection et de la ploïdie sur la résistance mécanique de la chair crue et cuite, moyenne ± écart type, n=15, NS : non significatif, * p<0,05, *** p<0,001.

	M2	G2	M3	G3	M/G	2n/3n
	Résistance spécifique (N/g)					
Cru	13,2 ± 2,0	12,2 ± 1,9	11,7 ± 1,6	10,3 ± 1,8	*	***
Cuit	25,8 ± 4,3	28,3 ± 6,8	25,4 ± 3,4	23,1 ± 4,3	NS	*

Tableau 3 : Effet de la sélection et de la ploïdie sur l'évaluation sensorielle de la chair cuite, moyenne de 18 juges, NS : non significatif, * p<0,05, ** p<0,01.

	M2	G2	M3	G3	M/G	2n/3n
Fermeté	3,9	3,5	3,7	3,2	NS	NS
Exsudation	3,0	4,0	4,1	4,4	*	**
Humidité	3,4	4,6	4,7	4,8	*	*
Film Gras	2,0	2,6	2,1	3,0	*	NS

Conclusions

La sélection sur la teneur en lipides musculaires affecte la résistance mécanique du produit cru mais pas la fermeté après cuisson. Par contre les paramètres d'hydratation de la chair mesurés en analyse sensorielle (exsudation, humidité) sont positivement affectés par cette sélection. La triploïdie a un effet sur la résistance mécanique de la chair (crue et cuite) et sur les paramètres d'hydratation en analyse sensorielle. Les variations de ces paramètres sont cohérentes avec la structure du tissu musculaire, les poissons G ayant des fibres un peu plus grosses que les M, mais cet effet est moins marqué que celui de la ploïdie, les poissons 3n ayant des fibres musculaires de taille supérieure aux 2n.
Ces effets observés sur des poissons de taille portion sont à confirmer sur des poissons de plus grande taille, pour lesquels les caractéristiques du produit peuvent être fortement affectées par la teneur en lipides du muscle.

Références bibliographiques

Bugeon J., Lefèvre F., Fauconneau B., 2003. Aquaculture Res., 34, 1287-1295.
Johansson L., Kiessling A., Kiessling K.H., Berglund,L., 2000. Food Qual. Preference, 11, 247-254.
Quillet E., Le Guillou S., Aubin J., Fauconneau B., 2005. Aquaculture, 245, 49-61.
Regost C., Arzel J., Cardinal M., Laroche M., Kaushik, S.J., 2001. Aquaculture, 193, 325-345.
Robb D.H.F., Kestin S.C., Warriss P.D., Nute G.R., 2002. Aquaculture, 205, 345-358.
Sigurgisladottir S., Sigurdardottir M.S., Ingvarsdottir H., Torrissen O.J., Hafsteinsson H., 2001. Aquaculture Res., 32, 1-10.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel de la PEIMA pour l'élevage des poissons et son aide lors de l'abattage, et Gilles Paboeuf et Josiane Cornet pour leur aide technique lors des mesures de qualité au laboratoire.

EFFETS DU MODE D'ELEVAGE SUR LES PERFORMANCES, LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX ET LA QUALITE DE VIANDE CHEZ DEUX GENOTYPES DE PORCS

LEBRET B. [1], MEUNIER-SALAUN M.C. [1], FOURY A. [2], MORMEDE P. [2], DRANSFIELD E. [3], DOURMAD J.Y. [1]

[1] INRA UMR SENAH, 35590 Saint-Gilles

[2] INRA UMR 1243, Institut F. Magendie, 146 rue Léo-Saignat, 33077 Bordeaux cédex

[3] INRA QuaPA, Theix, 63122 St-Genès-Champanelle (Adresse actuelle: WUR, Agrotechnology and Food Innovations, Bornsesteeg 59, 6700 AA Wageningen, The Netherlands)

Introduction

L'image de la production porcine conventionnelle auprès du grand public est assez négative. Des résultats de *focus-groupes* conduits en France et en Europe montrent que cette production est souvent associée à un impact environnemental négatif (pollution, odeurs), l'absence de bien-être pour les animaux, et est parfois accusée d'avoir dégradé la qualité des viandes (Rainelli, 2001; Ngapo et al., 2003). Un des principaux défis qui se posent à la filière porcine est donc de proposer des systèmes de production plus acceptables par les citoyens en termes d'impact sur l'environnement et le bien-être des animaux, et qui conduisent à des produits de qualité améliorée.

Une précédente étude visant à comparer deux modes d'élevage contrastés de porcs a mis en évidence que l'élevage sur litière avec libre accès à une courette extérieure permet de réduire fortement la production d'odeurs dans les bâtiments, d'améliorer le bien-être, la santé et la croissance des animaux et la qualité sensorielle de la viande comparativement à l'élevage sur caillebotis (Lebret et al., 2004, 2006a). Cependant, la réponse des animaux au mode d'élevage, notamment leur réactivité aux stress du processus d'abattage et consécutivement la qualité de viande peut varier selon leur génotype (Terlouw, 2005). Ce travail a pour objet d'évaluer l'influence du mode d'élevage sur les performances de croissance, le comportement et la réponse physiologique des animaux au processus d'abattage, et la qualité de viande chez deux génotypes de porcs. Ces résultats ont été présentés aux Journées de la Recherche Porcine (Lebret et al., 2006b).

Matériel et Méthodes

Animaux et modes d'élevage. Quatre-vingts porcs (mâles castrés, MC et femelles, F) soit 40 croisés lignée synthétique x (LWxLD) (**LS**) et 40 croisés Duroc x (LWxLD) (**D**) ont été utilisés. Dans chaque génotype, à environ 35kg, les porcs étaient placés intra-portée dans un système d'élevage conventionnel (**C**) (caillebotis total, 0,65 m²/porc, température ambiante ≥22°C) ou alternatif sur litière de sciure de bois (1,3 m²/porc, température ambiante variable) avec libre accès à une courette extérieure (1,1 m²/porc) (**L**). Les porcs étaient alimentés à volonté. Deux répétitions ont été réalisées (printemps, hiver) incluant chacune une loge de 10 porcs (MC et F) par génotype et par système (n=40 par répétition).

Comportement des animaux et niveaux hormonaux en élevage. A environ 70 kg de poids vif, les activités des animaux et le nombre de porcs impliqués ont été évalués toutes les 10 min par analyse d'enregistrements vidéo. Des budgets-temps sur la période diurne (8h00 – 16h00) ont été établis pour chaque système. Au même stade, de l'urine a été collectée sur chaque porc après une nuit de jeûne et conservée à -80°C avant détermination des teneurs en cortisol, adrénaline et noradrénaline, et créatinine (Foury et al., 2005).

Abattage. A l'abattage à 158 j, du sang a été collecté pour détermination de l'ACTH et du cortisol plasmatiques par RIA, et de l'urine a été collectée pour détermination du cortisol et des catécholamines (ci-dessus). Le poids de carcasse, l'épaisseur moyenne de lard dorsal et la teneur en viande maigre (TVM - FOM) ont été déterminés.

Qualité de viande. Le pH1 (25 min), le pH_u, la couleur et la teneur en lipides des muscles *Longissimus* (LL), *Biceps femoris* (BF) et *Semimembranosus* (SM), ainsi que les pertes en eau du LL (4 j p.m.) ont été évalués. Après 4 j de maturation (4°C), les longes ont été mises sous vide et congelées (-20°C) jusqu'aux analyses sensorielles. Un jury entraîné (10 membres) a noté (de 0 : absence à 10 : élevé) la tendreté, la jutosité et la flaveur des côtes grillées.

Statistiques. Les budgets-temps ont été comparés par test du χ^2. Les autres données ont été soumises à une analyse de variance (GLM, SAS) incluant les effets mode d'élevage, génotype, sexe, date d'abattage et leurs interactions.

Résultats et Discussion

Aucune interaction significative entre le mode d'élevage et le génotype n'a été observée sur les critères évalués. En conséquence, seuls les effets principaux du mode d'élevage sont présentés. En élevage, les porcs L tendent (P<0.10) à consacrer plus de temps aux activités d'investigation (en particulier fouille de la litière) que les porcs C (28 vs 20%) et moins de temps au repos, en accord avec Beattie et al. (2000) et Lebret et al. (2004). L'augmentation de l'activité d'investigation, naturelle chez cette espèce, suggère une amélioration du bien-être des porcs dans le système L. Le système d'élevage ne modifie pas les niveaux urinaires de cortisol et de catécholamines à 70kg (Tableau 1).

Les porcs L présentent une vitesse de croissance plus élevée en relation avec une consommation alimentaire supérieure, et sont plus lourds (5kg) à l'abattage (Tableau 2), confirmant nos précédents résultats (Lebret et al., 2006a). Ceci peut s'expliquer par une température ambiante et une densité inférieures, qui favorisent la consommation alimentaire dans le système L. L'épaisseur de lard et la TVM des carcasses ne diffèrent pas entre les porcs L et C, à l'inverse de notre première étude, indiquant que l'effet du mode de production sur quantités relatives de dépôts musculaires et adipeux chez l'animal peut être modulé par d'autres facteurs, comme les conditions climatiques ou le génotype.

A l'abattage, les teneurs en ACTH et cortisol plasmatiques (non montrées) et cortisol et catécholamines urinaires (Tableau 1) sont équivalentes entre porcs L et C. Le mode d'élevage n'influence donc pas l'activité de l'axe adrénocorticotrope (évaluée par le cortisol) et du système nerveux autonome (évaluée par les catécholamines) pendant la phase d'élevage, ni à l'abattage. En accord avec les niveaux hormonaux à l'abattage, le pH_1 est équivalent entre porcs L et C (Tableau 3), indiquant que dans nos conditions expérimentales le système d'élevage (ou expérience antérieure) des animaux n'influence pas leur réponse physiologique aux stress d'abattage (Terlouw, 2005). Le mode d'élevage ne modifie pas le pH_u, la luminance (L*) ni l'indice de rouge (a*) de la viande, mais accroît l'indice de jaune (b*) et les pertes en eau, ainsi que la teneur en lipides du LL (Tableau 3). Des effets similaires sont observés dans les muscles BF et SM, à l'exception d'une valeur a* plus élevée des porcs L (données non montrées). Le mode d'élevage L améliore la jutosité mais n'influence pas la tendreté ou la flaveur de la longe (Tableau 3), confirmant nos premiers résultats (Lebret et al., 2006a). Ceci peut résulter de la teneur en lipides intramusculaires plus élevée des porcs L (Hodgson et al., 1991).
Des résultats similaires ont été obtenus entre les deux génotypes pour l'ensemble des caractères évalués, à l'exception d'un taux d'ACTH plasmatique inférieur (P<0.001) et de teneurs supérieures en lipides intramusculaires (P<0.001) et adrénaline urinaire à l'abattage (P<0.001), ainsi que d'une note moyenne de tendreté de viande plus élevée (P<0.001) chez les porcs D comparativement aux LS.

Conclusions

L'influence du mode d'élevage sur le comportement des animaux, l'activité des systèmes neuroendocrines, les performances de croissance, les qualités de carcasse et de viande est similaire chez les porcs croisés D ou issus de lignée synthétique. Nos résultats confirment les effets positifs du mode d'élevage « litière-courette » sur le bien-être des animaux, les performances de croissance et la qualité sensorielle (jutosité) de la viande. Dans nos conditions expérimentales, la composition corporelle, la réactivité au stress d'abattage des animaux et le métabolisme musculaire post-mortem ne sont affectés par le mode d'élevage. Les porcs croisés Duroc comme ceux issus de lignée synthétique peuvent être produits dans le système alternatif, cependant les premiers conduiront à une viande de qualité supérieure.

Références bibliographiques

- Beattie V.E., O'Connell N.E., Moss B.W., 2000. Lives. Prod. Sci., 65, 71-79.
- Foury A., Devillers N., Sanchez M.P., Griffon H., Le Roy P., Mormède P., 2005. Meat Sci., 69, 703-707.
- Hodgson R.R., Davis G.W., Smith G.C., Savell J.W., Cross H.R., 1991. J. Anim. Sci., 69, 4858-4865.
- Lebret B., Couvreur S, Meunier-Salaün M.C., Guingand N., Robin, P., Hassouna, M., Cariolet R., Dourmad J.Y., 2004. Journées Rech. Porcine, 36, 53-62.
- Lebret B., Meunier-Salaün M.C., Foury A., Mormède P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006a. J. Anim. Sci. *in press.*
- Lebret B., Meunier-Salaün M.C., Foury A., Mormède P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006b. Journées Rech. Porcine, 38, 81-88.
- Ngapo T.M., Dransfield E., Martin J.F., Magnusson M., Bredahl L., Nute G.R., 2003. Meat Sci., 66, 125-134.
- Rainelli P., 2001. Courrier Environnement INRA, 42, 47-60.
- Terlouw E.M.C., 2005. Lives. Prod. Sci., 94, 125-135.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme "Porcherie Verte" avec le soutien financier de l'Ofival. Les auteurs remercient le personnel de l'élevage, l'abattoir et des laboratoires (SENAH et QuaPA) pour leur contribution.

Tableau 1. Hormones urinaires chez les porcs L et C

Hormone, ng/mg	**70 kg**			**Abattage**		
créatinine	**L**	**C**	Sign.	**L**	**C**	Sign.
Cortisol	21.2	22.2	ns	27.2	30.1	ns
Adrénaline	3.9	4.4	ns	7.2	7.6	ns
Noradrénaline	17.2	14.6	ns	12.6	11.2	ns

Tableau 2.Performances de croissance et qualité de carcasse

	L	**C**	Sign.
Poids final, kg	115.3	110.1	P<.001
Cons. alimentaire, kg/j	2.91	2.65	-
Vitesse de croissance, g/j	1003	942	P<.01
Ep. moy. lard dorsal, mm	20.9	20.1	ns
Teneur en viande maigre, %	59.2	59.7	ns

Tableau 3. Qualité de la viande (LL)

	L	**C**	Sign.
pH_1	6.39	6.42	ns
pH_u	5.57	5.56	ns
Couleur L*	55.6	54.5	ns
a*	6.6	6.4	ns
b*	5.5	4.9	P<.01
Pertes eau, %	6.6	4.7	P<.001
Lipides, %	2.10	1.73	P<.001
Tendreté	5.1	5.2	ns
Jutosité	3.5	3.1	P<.001
Flaveur	5.3	5.4	ns

QUALITE DES CARCASSES DE CAPRINS CREOLES ABATTUS A POIDS DIFFERENTS

LIMEA L., ALEXANDRE G., ARQUET R., GRAVILLON G., BOCAGE B.

Unité de Recherches Zootechniques, INRA Antilles Guyane, Duclos
97170 Petit-Bourg, Guadeloupe (F.W.I)

Introduction

Le caprin créole de Guadeloupe est une race locale de petit format qui présente des caractéristiques de production intéressantes en régions tropicales généralement connues pour être peu favorables à l'obtention de niveau de performances élevées. Il s'agit d'une race à vocation essentiellement bouchère, bien que peu de travaux aient été menés sur les caractéristiques de la carcasse (Alexandre 1999). Le système alimentaire le plus fréquent est traditionnellement le pâturage, mais ce mode d'élevage engendre des croissances lentes et des conformations peu appréciées des bouchers. Par ailleurs, nous assistons dans les pratiques d'élevage actuelles, à l'introduction de races de grand format et à fort potentiel de croissance. En effet, les éleveurs réclament des animaux plus lourds et les bouchers des animaux mieux conformés (Gau 2000). Ainsi pour répondre aux desiderata des producteurs, des bouchers et aux attentes sociétales, il convient d'alourdir les carcasses donc d'améliorer la conformation tout en contrôlant l'engraissement. Dans cette optique, nous avons entrepris l'étude de la qualité de la carcasse à différents poids d'abattage à travers des critères pondéraux et des mensurations afin de définir un poids optimal d'abattage correspondant à une carcasse conforme aux attentes des bouchers.

Matériels et méthodes

Dans notre expérimentation, nous avons utilisé 121 caprins mâles de génotype créole de notre élevage expérimental. Les animaux recevaient dans leurs rations du fourrage tropical vert complémenté avec l'aliment concentré du commerce pour générer la variabilité des poids d'abattage. Nous avons analysé la distribution des poids d'abattage et 3 groupes se sont distingués : une classe légère (17,6 à 19,7kg, N= 26), une classe moyenne (19,7 à 23,0kg, N=42) et une classe lourde (23,2 à 27,6kg, N=53). Les durées d'engraissement moyennes étaient respectivement de 385j, 378j et de 511j. Par ailleurs, nous avons vérifié par analyse statistique que l'allotement des chevreaux en début d'expérimentation était homogène pour le poids de naissance, le poids au sevrage, le gain moyen quotidien (gmq) à la naissance, au sevrage et à la parenté. Les animaux ont été abattus en abattoir expérimental à l'aide d'un pistolet à balle captive, puis la tête et les membres ont été séparés, suivies des étapes de dépeçage et d'éviscération. Tous les constituants de l'animal ont été pesés : la tête, la peau, les pattes, les abats rouges, les abats blancs, le gras omental et le gras péri rénal. La carcasse ainsi obtenue a été pesée le jour de l'abattage et 24h après. Après l'étape de ressuyage, ont été réalisées les notations de la conformation, de l'état d'engraissement, de la couleur et les mensurations linéaires sur la carcasse entière et fendue. Les demi carcasses gauches ont été découpées anatomiquement en 5 morceaux selon la procédure standard de Colomer-Rocher (1987) puis pesées. L'épaule gauche est disséquée en muscles, os, et gras intermusculaire. Le traitement statistique des résultats a été réalisé par analyse de variance à l'aide de la procédure GLM du logiciel Minitab 14.1avec comme effet fixe la classe de poids.

Résultats et discussions

Les résultats détaillés sont donnés par le tableau 1. Les rendements vrais (poids de carcasse froide/ poids vif vide) étaient respectivement de 53,6 %, 55,4% et de 57,2%. Ces rendements augmentaient avec le poids d'abattage et étaient significativement différents. Les poids du collier (427à 657g) et du gigot (1100 à 1524g) contribuaient fortement à ce gain. La croissance du cou chez le caprin mâle était couramment observée comme caractère sexuel secondaire et pouvait être pris en compte lors de l'élaboration de la grille de notation de carcasse. On avait noté que la proportion relative du gigot par rapport au poids de la carcasse diminuait de la classe légère à la classe moyenne. Nos résultats étaient en accord avec ceux observés par Colomer- Rocher (1992) pour des caprins Saanens de Nouvelle Zélande et Marichal (2003) pour les caprins Canaries. Les contributions en pourcentage du gigot et de l'épaule diminuaient avec un poids d'abattage croissant. Colomer- Rocher (1992) l'avait précisé par des coefficients d'allométrie de croissance plus faibles que pour les autres morceaux de la carcasse. En proportion, l'épaule était le morceau qui varie le moins avec le poids d'abattage. Cette constance autour de 19-21% avait été observée par les mêmes auteurs cités précédemment. Ces auteurs suggéraient que l'épaule pouvait être utilisée pour des extrapolations à la carcasse. Les résultats de la dissection de l'épaule avaient montré que le poids d'abattage avait un effet significatif sur les proportions de muscles, d'os et de gras intermusculaire. Les caprins tendaient à déposer davantage de gras au niveau viscéral qu'au niveau du tissu gras subcutané de la carcasse (Colomer-Rocher 1992). Ainsi, nos caprins créoles avaient des notes de gras externe (notation de l'engraissement externe) très faibles et une proportion de gras intermusculaire négligeable. La

proportion d'os dans la carcasse diminuait lorsque l'animal s'alourdissait. Lors du développement, la mise en place du tissu osseux précédait celui du tissu musculaire et du tissu gras, ce qui expliquait les résultats observés.

Tableau 1. Proportions, mensurations pondérales et linéaires, indices de compacité et l'effet du poids d'abattage

	Classe légère	Classe moyenne	Classe lourde		
Mesures		Moyennes		ETR	Effet poids[a]
Proportions, %					
Rendement carcasse	53,6	55,4	57,2	2,60	***
Epaule	19,8	19,3	19,2	0,99	†
Gigot	31,3	31,1	29,6	1,95	***
Collier	12,0	12,4	12,7	1,49	***
Poitrine	14,4	14,5	14,5	1,94	†
Côtes	22,7	23,1	22,6	1,67	*
Dissection de l'épaule					
Muscles, %	52,2	54,1	56,2	3,70	***
Os, %	22,9	21,8	20,5	1,84	***
Gras intermusc., %	5,0	5,2	6,2	1,92	***
Ratio muscle/os	2,31	2,51	2,76	0,047	***
Engraissement					
Gras externe, 1 à 5	2,2	2,4	2,5	0,84	NS
Gras omental, g	83,3	133,8	220,4	89,9	***
Gras péri rénal, g	71,5	110,9	142,2	64,3	***
Conformation, 1 à 5	2,7	3,2	4,0	0,67	***
Mensurations, cm					
Largeur du bassin	12,7	13,5	14,6	0,77	***
Longueur du gigot	30,9	33,0	34,3	2,23	***
Longueur carcasse	52,6	55,5	57,4	1,96	***
Compacités					
Gigot	0,41	0,41	0,43	0,038	NS
Carcasse	0,24	0,25	0,26	0,014	*
Poids, g					
Poids vif vide	13066	15100	18080	1611	***
Carcasse froide	7021	8388	10362	1186	***

[a]NS= P>0,10 ; † P<0,10 ; *P<0,05 ; ***P< 0,001.

La conformation s'améliorait à la vue des résultats des mensurations linéaires, à l'exception du gigot qui avait tendance à s'allonger plus qu'à s'élargir. Chez les caprins en croissance, les largeurs évoluaient plus vite que les longueurs, ce qui expliquait l'amélioration de nos indices de compacité.

Conclusion

Il est possible d'améliorer la qualité de la carcasse des caprins Créole en augmentant leurs poids d'abattage. Les poids des différents morceaux, le rendement vrai et la note de conformation augmentent avec le poids de la carcasse. De plus, le dépôt de gras s'effectue surtout au niveau viscéral ce qui n'altère pas la qualité de la carcasse commerciale.

Références bibliographiques

Alexandre G., Aumont G., Mandonnet N., Naves M., 1999. AGRI, 26, 45-55.
Colomer-Rocher F., Morand-Fehr P.,Kirton A.H., 1987. Livestock Prod. Sci., 17, 149–159.
Colomer-Rocher F., Kirton A.H., Merces G.J.K., Duganzich D.M.,1992. Small Ruminant Research, 7, 161–173.
Gau D., Naves M., Alexandre G., Shitalou E., Mandonnet N., 2000. 7ième Conférence Internationale sur les caprins, Tours 15-21 mai 2000.
Marichal A., Castro N., Capote J., Zamorano M.J., Argüello A., 2003. Livestock Prod. Sci., 83, 247-256.
Van Niekerk W.A., Casey N.H., 1988. Small Ruminant Research, 1, 355-368.

PRODUCTION DE VEAUX ROSES SALERS : CARACTERISTIQUES ZOOTECHNIQUES ET QUALITES ORGANOLEPTIQUES DE LA VIANDE SELON LA NATURE DU FOURRAGE ET LE NIVEAU DE COMPLEMENTATION

SERRANO E, JAILLER R, DUBROEUCQ H, AGABRIEL J, MICOL D.
URH INRA-Clermont-Theix, 63122 Saint Genès de Champanelle

Introduction

La finition d'une partie des broutards en veaux 'rosés' à partir des troupeaux allaitants peut être une source de diversification pour ce type d'élevage. Elle semble spécialement intéressante dans les zones à fortes contraintes, comme la montagne. Les «veaux rosés» sont des animaux voisins des broutards allaitants (majoritairement vendus en maigre pour l'engraissement), élevés et engraissés sous la mère et abattus à 9-11 mois environ. Cependant les itinéraires de production (âge d'abattage, niveau de concentré de la ration, utilisation de d'herbe ou de fourrages conservés) et les effets de ces itinéraires sur les performances, la qualité des carcasses et la qualité organoleptique de la viande, restent à définir.

L'expérimentation mise en place porte sur l'effet de l'alimentation (type de fourrage et niveau de concentré) apportée au veau sur les caractéristiques zootechniques vers 10 mois d'âge, et sur celles des carcasses et des viandes.

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental comprend 20 veaux Salers, nés en moyenne le 2 janvier, alimentés au lait sous la mère jusqu'à 4,5 mois d'âge, puis répartis à la mise à l'herbe mi-mai en 5 lots :

Traitements **FB** (foin - bas concentré) et **FH** (foin - haut concentré) : Les veaux (n=4 par lot), logés dans des cases individuelles, reçoivent des rations à base de foin de dactyle, deux niveaux d'aliments concentrés (ad libitum ou moitié de cette quantité) et boivent le lait de leur mère (tétée 2 fois par jour). Les vaches reçoivent également un foin de dactyle.

Traitements **HB** (herbe - bas concentré) et **HH** (herbe - haut concentré) : Les veaux (n=4 par lot), logés aussi dans des cases individuelles, reçoivent des rations à base d'herbe verte coupée, deux niveaux de concentrés (ad libitum et moitié de cette quantité) plus le lait de leur mère (tétée 2 fois par jour). Les vaches pâturent de l'herbe verte à l'extérieur.

Traitement **TP** (Témoin pâturage en estive) : Les veaux restent au pâturage en altitude avec leurs mères et ont accès à un distributeur de concentré ad libitum. Les veaux sont abattus à 10 mois d'âge.

Les mesures portent sur :

- le niveau d'ingestion individuel des différents aliments (mesure 5 jours par semaine pour les fourrages et le concentré, lots FB, FH, HB et HH et 1 fois par semaine pour le lait bu) et l'évolution du poids vif (pesée des animaux 1 fois par semaine),
- le poids final, l'état d'engraissement (classification de 0 à 5) et la conformation (classification EUROP, échelle de 0 à 15) des carcasses et le poids des différentes tissus de la carcasse,
- le pH et la couleur (paramètres L*, a*, b* du système CIE LAB) mesurée 24 heures après l'abattage sur les muscles *Rectus abdominis* (RA) et *Semitendinosus* (ST),
- les qualités organoleptiques de la viande (muscle *Longissimus thoracis :* LT) appréciées par un jury d'évaluation sensorielle entraîné.

Enfin, compte tenu du faible effectif du dispositif, les tests statistiques effectués n'indiquent que des tendances.

Résultats

- Croissance et caractéristiques d'abattage.

Le poids initial (à la mise à l'herbe, à 141 j ± 9 d'âge) atteint en moyenne 166 kg ± 9. L'âge à l'abattage n'est pas différent entre les lots (291 j ± 6).

Seul le niveau d'apport de concentrés affecte la vitesse de croissance (GMQ) (1248 *vs* 1354 g/j respectivement, P=0,09) (Tableau 2). Ainsi, les valeurs les plus élevées de poids vif à l'abattage (PV) correspondent aux lots haut niveau de concentré mais ces différences avec les lots bas niveau de concentré ne sont pas significatives (P=0,13). Le niveau de concentré affecte significativement le poids vif vide (PVV) (P=0,05) et le poids de carcasse (P=0,07). Les animaux du lot HH ont des poids vif vide (PVV) et des poids de carcasse les plus élevés (+ 15 kg) suivis des lots FH, HB et FB, ces différences entre lots sont significatives (P<0,1) seulement sur le PVV des lots HH et FB.

Le GMQ du lot TP (1542 g/jour) est plus élevé que celui des autres lots (P<0,05). Ce lot a aussi les valeurs les plus élevées de PV, de PVV et de poids de carcasse (395, 348 et 230 kg, respectivement) mais ces différences entre lots sont significatives seulement sur le PV, le PVV et le poids de carcasse du lot TP avec le PV des lots FB, FH, HB (P<0,1), le PVV du lot FB (P<0,05) et le poids de carcasse des lots FB et HB (P<0.1). Le rendement vrai (poids de carcasse/PVV) du lot TP est plus élevé que celui des autres lots (P<0,05) (66,2 *vs* 64,2 %). Le niveau de concentré affecte le poids de muscles de la carcasse (P=0,04). Les animaux du lot HH présentent des poids de muscles plus élevés que les animaux des lots FB et

HB. Par contre, le poids des tissus adipeux de la carcasse n'est pas affecté par le type de fourrage ni par le niveau de concentré (P=0,2 et 0,5). Le poids de muscles de la carcasse du lot TP est plus élevé que ceux des lots FB et HB (P<0,05).
Les notes d'engraissement et de conformation des carcasses ne sont pas significativement différentes pour des comparaisons réalisées (P>0,1) (Tableau 1). Les valeurs les plus élevées de note de conformation de la carcasse sont atteintes par les lots HH et TP, les notes d'engraissement les plus élevées s'observent chez les lots FB et HB, pour des poids de carcasse légèrement moindre (Micol et *al*, 1993).

Tableau 1. Gain de poids moyen quotidien, poids à l'abattage et caractéristiques des carcasses.

	Comparaison des cinq lots							Comparaison Type fourrage - Niveau concentré		
	FB	FH	HB	HH	TP	s.e.m	Lot	s.e.m	Fourrage	Concentré
Poids vif (kg)	349,8^{d}	359,5^{d}	354,0^{d}	373,2^{cd}	394,7^{c}	9,5	P=0,03	8,6	P=0,32	P=0,13
Gain moyen quotidien (g/jour)	1232^{b}	1340^{b}	1264^{b}	1368^{b}	1542^{a}	55	P=0,01	56	P=0,60	P=0,09
Poids vif vide (kg)	307,9^{b}	331,1^{ab}	312,2^{ab}	334,0^{a}	347,8^{a}	10,9	P=0,10	9,9	P=0,73	P=0,05
Poids de carcasse (kg)	197,8^{d}	211,7^{cd}	200,2^{d}	215,6^{cd}	230,4^{c}	7,9	P=0,07	7,1	P=0,67	P=0,07
Rendement vrai (%)	64,3^{b}	63,9^{b}	64,1^{b}	64,5b	66,2^{a}	0,50	P=0,04	0,48	P=0,67	P=0,99
Composition de la carcasse										
Muscle (kg)	140,8^{b}	151,7^{ab}	141,6^{b}	154,5^{a}	164,8^{a}	5,9	P=0,07	5,1	P=0,74	P=0,04
Tissues adipeux (kg)	21,7	22,7	23,2	24,0	24,0	1,2	P=0,15	1,2	P=0,25	P=0,45
Os (kg)	35,3	37,2	35,3	37,1	39,6	1,2	P=0,11	1,2	P=0,95	P=0,16
Tissue adipeux totaux (kg)	29,2	32,3	32,3	33,4	35,7	2,1	P=0,32	1,9	P=0,30	P=0,30
Note d'engraissement	2,23	2,13	2,25	2,13	2,12	0,16	P=0,95	0,12	P=0,96	P=0,55
Note de conformation	5,57	5,57	5,76	6,85	7,16	0,54	P=0,16	0,50	P=0,22	P=0,36

- pH et couleur de la viande

Les valeurs de pH ne sont affectées ni par le type de fourrage ni par le niveau de concentré (P>0,1) pour les muscles considérés (Tableau 3). Les valeurs de pH des muscles des animaux du lot TP ne sont pas non plus différentes des valeurs des autres lots. En matière de couleur de la viande (Tableau 3), on observe en premier lieu une tendance à des valeurs plus élevées de b* pour les lots alimentés à l'herbe par rapport à ceux alimentés au foin (P=0,15 et 0,16 pour les muscles RA et ST). Le lot TP présente des valeurs de b* les plus élevées, significativement (P<0,05) plus importantes que celles des deux lots au foin. Les valeurs L* et a* du lot TP ont tendance à être plus faibles et plus élevées, respectivement, que ceux des autres lots considérés.

- Qualité sensorielle de la viande

Le lot TP obtient les notes les plus basses de tendreté et jutosité (Tableau 2). Ces valeurs de tendreté et jutosité sont significativement inférieures (P<0,05) à celles des lots FH et HH.

Tableau 2. Caractéristiques organoleptiques de la viande du muscle *Longissimus thoracis* (LT).

	FH	HH	TP	s.e.m	Lot	Dégustateur
Tendreté	5,17^{a}	5,42^{a}	4,14^{b}	0,96	P=0,01	P=0,004
Jutosité	4,60^{a}	4,79^{a}	3,63^{b}	0,75	P=0,003	P<0,0001
Flaveurs						
Carton	1,55	1,43	1,77	0,49	P=0,33	P<0,0001
Métal	1,48	1,43	1,48	0,67	P=0,98	P<0,0001
Sang	1,59	1,11	1,16	0,67	P=0,25	P<0,0001
Lait	0,87	1,07	1,01	0,41	P=0,57	P<0,0001
Gras	0,88	1,00	0,96	0,65	P=0,92	P<0,0001
Herbe	0,87	0,93	1,06	0,49	P=0,72	P<0,0001

Conclusion

Les résultats obtenus doivent être largement modulés par la faiblesse des effectifs d'animaux mis en jeu par modalité, et de ce fait par la faible portée statistique du dispositif. Les différents régimes alimentaires utilisés ont eu des effets faibles sur les performances, les caractéristiques de carcasse et la qualité de la viande obtenue (Priolo et *al*, 2001). Le type d'animal produit présente la remarquable caractéristique d'un état d'engraissement très faible, ce qui peut être valorisé dans un contexte de demande de viande relativement maigre (Geay et *al*, 2002). Les résultats obtenus indiquent aussi que l'activité physique associée au pâturage peut aussi se révéler un facteur influençant la tendreté, caractéristique essentielle de la qualité de la viande.

Références bibliographiques

Geay Y., Bauchart D., Hocquette J. F., Culioli J., 2002. INRA Prod. Anim., 15, 37-52.
Micol D., Robelin J., Geay Y., 1993. INRA Prod. Anim., 6, 61-69.
Priolo, A., Micol, D., Agabriel J., 2001. Anim. Res., 50, 185-200.

TRAÇABILITE DE L'ALIMENTATION A BASE DE FOURRAGES PAR L'EMPREINTE DES CAROTENOÏDES, DES TERPENES ET DE LA SPIR CHEZ LES JEUNES BOVINS.

SERRANO E.[1], CORNU A.[1], ANDUEZA D.[1], CHAUVEAU B.[1], PRACHE S.[1], PRADEL P.[2], MICOL D.[1]
[1] INRA, Unité de Recherches sur les Herbivores ; [2] INRA, Marcenat, Domaine de la Borie, 15330 Marcenat.

Introduction

Les caroténoïdes et les terpènes sont des marqueurs des plantes et des fourrages consommés par les herbivores. Ils sont en plus forte concentration dans les fourrages verts que dans les fourrages conservés ou les graines. (Wolter, 1988, Rock, 1997). Ces composés ne sont pas synthétisés par l'animal. D'autres marqueurs sont issus du métabolisme propre de l'animal (scatole, 2,3-octanedione…).

L'objectif de cette étude est d'utiliser ces composés, compte tenu de ces caractéristiques, et la spectophotométrie dans le proche infrarouge (SPIR) pour tracer les rations de jeunes bovins recevant une nature de fourrage différente (herbe diversifiée de pâturage coupée ou foin de graminées) et deux niveaux (haut ou bas) de complémentation en aliments concentrés, le dernier lot est conduit en estive, avec une forte complémentation à volonté.

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental comprend 20 veaux Salers, nés en moyenne début janvier, alimentés au lait sous la mère jusqu'à 4,5 mois d'âge, puis répartis à la mise à l'herbe mi-mai en 5 lots : Traitements **FB** (foin - bas concentré) et **FH** (foin - haut concentré) : Les veaux (n=4 par lot), logés dans des cases individuelles, reçoivent des rations à base de foin de dactyle, deux niveaux d'aliments concentrés (ad libitum ou moitié de cette quantité) et boivent le lait de leur mère (tétée 2 fois par jour). Les vaches reçoivent également un foin de dactyle. Traitements **HB** (herbe - bas concentré) et **HH** (herbe - haut concentré) : Les veaux (n=4 par lot), reçoivent des rations à base d'herbe verte coupée, les deux niveaux de concentrés plus le lait de leur mère. Les vaches pâturent de l'herbe verte à l'extérieur. Traitement **EST** (Témoin Estive) : Les veaux restent au pâturage d'estive en altitude avec leurs mères et ont accès à un distributeur de concentré ad libitum. Les veaux ont été abattus à 10 mois d'âge (Serrano et *al*, 2005 et 2006).
Les teneurs en caroténoïdes ont été mesurées par HPLC dans les aliments (herbe, foin, concentrés et lait des mères) et dans le plasma des animaux à l'abattage. Les spectres de réflectance (CIELAB, Minolta CM 2002) ont été enregistrés sur les dépôts adipeux sous-cutanés et péri rénaux selon Prache et al, 2003. Les composés volatils (terpènes, 2,3-octadione, scatole…) ont été analysés par ETD-CPG-SM dans les tissus adipeux péri rénaux et sous-cutanés. Une approche globale par spectrométrie (SPIR) a également été développée sur le plasma et les fèces des animaux.

Résultats

La teneur en caroténoïdes dans le plasma (figure 1) et le spectre de réflectance des tissus adipeux permettent de repérer la nature de l'alimentation (herbe *vs* fourrage sec), le tissu péri rénal semblant plus discriminant.
Pour les composés volatils, la 2,3-octanedione est présente dans les tissus adipeux des animaux conduits à l'herbe, mais pas dans les autres régimes. Le scatole est peu ou pas présent dans les tissus adipeux sous-cutanés et péri rénaux des animaux conduits au pâturage en estive. Globalement, 22 mono terpènes, 20 sesquiterpènes et 6 dérivés oxygénés sont détectés. Les profils terpéniques les plus riches des tissus gras, tant en diversité qu'en intensité, sont obtenus chez les veaux conduits en pâturage d'estive avec leur mère. Dans la plupart des cas, l'écart entre pâturage d'estive et les autres régimes est plus important au niveau du tissu adipeux péri rénal qu'au niveau du tissu adipeux sous cutané.

La SPIR se révèle particulièrement efficace pour tracer la proportion d'aliments concentrés (haut *vs* bas) dans la ration. Ainsi, sur 96 échantillons de fèces en cinétique au cours de la période d'essai, cette approche discrimine à 2 % près les deux niveaux de complémentation (Tableau 1).

Figure 1 : Concentration moyenne en caroténoïdes selon les différents lots. *Les lettres différentes indiquent une différence significatives (P>0,05).*

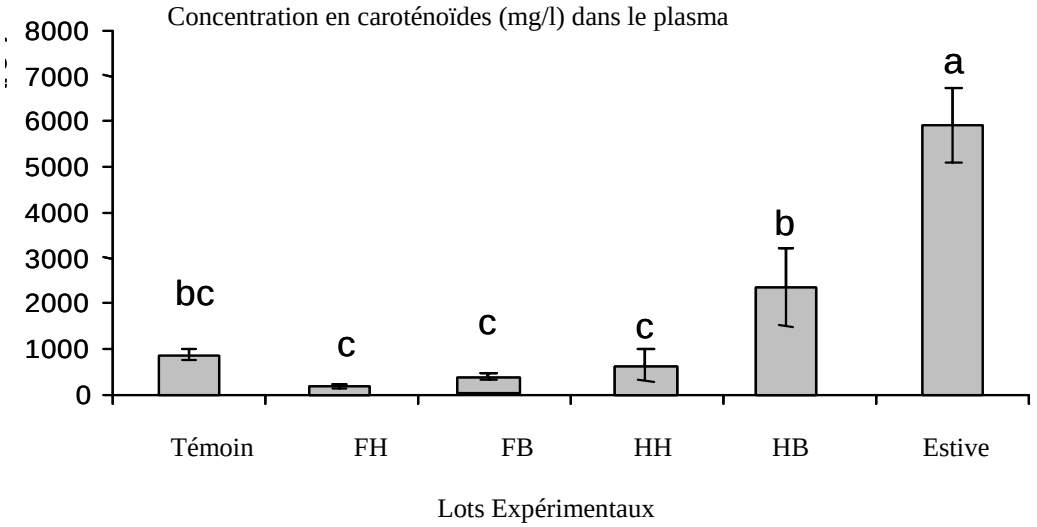


Tableau 1 : Estimation par la SPIR du niveau d'ingestion en aliments concentrés a partir des fèces des animaux (HC : Haut niveau de concentré et BC : Bas niveau de concentré).

		Réel	Réel	
		HC	BC	Total
Estimation	HC	47	1	48
SPIR	BC	1	47	48
	total	48	48	96
Erreur = 2,1 %				

ConclusionCette étude a permis de faire converger et de montrer les complémentarités entre les approches de traçabilité alimentaire des herbivores. Les caroténoïdes et la 2,3-octanedione semblent bien adaptés au marquage de la nature des fourrages (vert *vs* fourrage sec), les terpènes au repérage de l'utilisation des flores diversifiés (estive), et la SPIR, via les fèces, à la nature de la ration (ratio fourrages /complémentation).

Références bibliographiques

Rock, C.L. 1997. Pharmacology and Therapeutics 75: 185-197.
Serrano E., Pradel P., Agabriel J., Jailler R., Dubroeucq H., Micol D. 2005. Renc. Rech. Ruminants, 12, 383-386.
Serrano, E., Prache, S., Chauveau-Duriot, B., Agabriel, J. and Micol, D. 2006. Animal Science. (sous presse).
Wolter, R. 1988. In: R. Jarrige (Editor), Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. INRA Publications, Paris (FRA).471 pp., 113-120.

TYPOLOGIE DES VIANDES SELON LA QUALITÉ SENSORIELLE CHEZ LA GÉNISSE DE RACE CHAROLAISE : RELATIONS AVEC LES PERFORMANCES À L'ABATTAGE DES ANIMAUX

OURY M. P. [1], AGABRIEL J. [2], BLANQUET J. [1], LABOURÉ H. [1], MICOL D. [2], PICARD B. [2], ROUX M. [1], DUMONT R. [1]

[1] ENESAD, 26 boulevard Docteur Petitjean, BP 87999, 21079 Dijon Cedex
[2] INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Equipe C2M, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

La qualité sensorielle de la viande bovine est communément déterminée à travers les descripteurs de tendreté, de jutosité et d'intensité de flaveur. Ces descripteurs sont positivement corrélés entre eux (Rhee *et al.*, 2004 ; Serra *et al.*, 2004) mais avec des coefficients de corrélation compris entre + 0,35 et + 0,50. Aussi, il semble possible pour un niveau de tendreté donné, d'avoir plusieurs niveaux de jutosité et/ou d'intensité de flaveur. Pour représenter ce phénomène, nous avons cherché à construire une typologie des viandes sur la base des notes obtenues pour les différents descripteurs sensoriels.
L'objet de cette étude a donc été de décrire chez la génisse de race Charolaise la variabilité des propriétés sensorielles (tendreté, jutosité, flaveur) à l'aide de méthodes typologiques puis de tenter de l'expliquer par les performances des animaux à l'abattage.

Matériel et méthodes

L'étude a concerné 99 génisses de race Charolaise d'une même catégorie commerciale âgées en moyenne de 33,4 mois (23 à 43 mois) et pesant 381 kg de poids de carcasse (330 à 509 kg), toutes abattues entre février 2003 et janvier 2004 à même état d'engraissement (note de 3/5) à l'abattoir Arcadie Centre-Est de Venarey-les-Laumes (Oury, 2006).
Pour chaque animal, les développements musculaire (DM) et squelettique (DS) ainsi que l'état corporel (NE) ont été notés par pointage en vif, la veille de l'abattage. Après abattage, les carcasses ont été pesées et notées sur la conformation selon la grille EUROP. Le gain de poids vif moyen sur la vie a été calculé à partir de l'âge à l'abattage et du poids de carcasse froid.
Le muscle *rectus abdominis* (bavette de flanchet) a été prélevé 24 heures *post mortem* pour effectuer les analyses sensorielles. Après 14 jours de maturation sous vide à 4°C, les muscles ont été parés, découpés en steaks homogènes, remis sous vide et congelés à -20°C jusqu'à la dégustation. Les steaks ont alors été décongelés, cuits sur un grill double face à 300°C durant 1 minute 45 et proposés à un jury de 16 jurés formés aux analyses sensorielles. A chaque séance, une présentation monadique séquentielle de 5 échantillons tirés au hasard a été utilisée. La qualité sensorielle a été déterminée à partir de quatre descripteurs : tendreté initiale (TI), tendreté globale (TG), jutosité (J) et intensité de flaveur (F). Chaque descripteur a été noté entre 0 et 10 sur une échelle non structurée.
Les notes ont ainsi été traitées par analyse en composantes principales (ACP). La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur les coordonnées des individus dans les 3 premiers axes de l'ACP. L'ACP et la CAH ont été réalisées avec le logiciel Winstat (ITCF-CIRAD, 1997). Les analyses de variance à un facteur ont été réalisées avec la procédure GLM (modèle linéaire généralisé) de SAS 9.1 (SAS Institute, 2002-2003). La comparaison multiple des moyennes ajustées (LSMEAN) a été réalisée en utilisant l'option PDIFF de la procédure GLM. La distribution des classes de conformation dans chaque type de viande a été analysée par test du khi² (Sphinx Lexica version 4.0, 1986-2003).

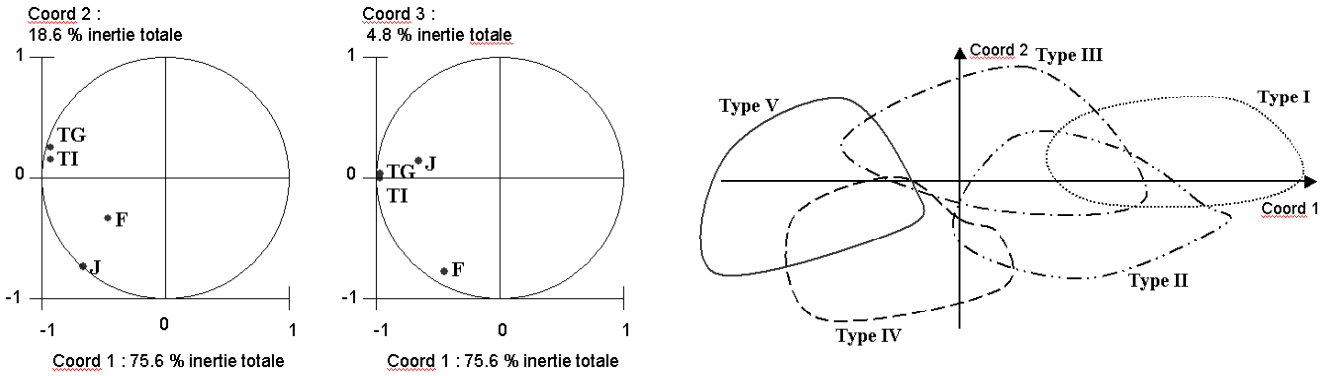
Résultats

En moyenne, les notes ont été de 5,7 / 10 pour les descripteurs de TI et F et de 5,3 / 10 pour les descripteurs de TG et J. Elles se sont échelonnées respectivement de 3,0 à 7,7 / 10 pour les descripteurs de TI, TG et J et de 4,3 à 6,4 / 10 pour le descripteur de F. Les quatre descripteurs sont positivement corrélés entre eux (figures 1a et 1b), comme précédemment établi dans la bibliographie. Cinq types de viande ont été distingués par ACP puis CAH, puis classés par ordre croissant de tendreté, du type I au type V (tableau 1, figure 1c).

- **Type I (n=26),** viandes peu tendres, peu juteuses mais d'intensité de flaveur plutôt élevée (TG : 4,5/10 ; J : 4,5/10 ; F : 5,7/10),
- **Type II (n=12),** viandes peu tendres, plutôt juteuses et de flaveur intense (TG : 4,5/10 ; J : 5,8/10 ; F : 6,0/10),
- **Type III (n=16),** viandes plutôt peu tendres, peu juteuses et de faible intensité de flaveur (TG : 5,1/10 ; J : 4,8/10 ; F : 5,2/10),
- **Type IV (n=20),** viandes plutôt tendres, très juteuses et d'intensité de flaveur plutôt élevée (TG : 5,5/10 ; J : 5,9/10 ; F : 5,6/10),
- **Type V (n=25),** viandes très tendres, plutôt juteuses et de flaveur intense (TG : 6,3/10 ; J : 5,6/10 ; F : 6,1/10).

Ces cinq types de viande correspondent à des génisses dont les âges à l'abattage, les poids de carcasse et les gains de poids vif sont significativement différents (tableau 1) : les viandes du type I proviennent des animaux les plus âgés (35,0 mois), tandis que celles des types III et V sont issues des animaux les plus jeunes (32,2 mois). Les génisses à l'origine des viandes du type III sont abattues les plus légères (366 kg), celles à l'origine du type IV étant abattues les plus lourdes (395 kg). Les génisses conduisant aux viandes de type I, II et V ont des poids de carcasse intermédiaires. Le gradient de tendreté entre les types I et V, correspond au gradient de gain de poids vif moyen par jour de vie des animaux, qui passe de 625 g/j de vie pour les génisses du type I à 682 g/j de vie pour les génisses du type V.
Les quatre classes de conformation de carcasses (U- : n=6 ; R+ : n= 29 ; R= : n=55 ; R- : n=9) sont représentées de façon homogène entre les cinq types de viande (p=0,818). L'état d'engraissement en vif n'est pas significativement différents selon

le type de viande (p=0,397). De même, il n'existe pas de différence de développement musculaire. En revanche, les notes de DS des animaux sont significativement différentes. Les viandes du type V proviennent des génisses dont les notes de DS sont les plus faibles (59,3/100) tandis que les viandes des types II et IV sont issues des génisses dont les notes de DS sont les plus élevées (respectivement 65,3 et 65,2/100) (tableau 1).



a) *b)* *c)*

Figure 1 : Projection des descripteurs sensoriels et des types de viande sur les axes de l'ACP
a) projection des descripteurs sensoriels sur les axes 1 et 2 ; b) projection des descripteurs sensoriels sur les axes 1 et 3 ; c) projection des types de viande sur les axes 1 et 2.

Tableau 1 : performances moyennes des génisses à l'abattage selon le type de viande

Performances à l'abattage	Population totale	Type de viande I	II	III	IV	V	Valeur de p
Effectif	99	26	12	16	20	25	
Note de tendreté initiale (/10)	5,7	5,0 [a]	5,1 [ab]	5,5 [b]	5,9 [c]	6,6 [d]	**0,0001**
Note de tendreté globale (/10)	5,3	4,5 [a]	4,5 [a]	5,1 [b]	5,5 [c]	6,3 [d]	**0,0001**
Note de jutosité (/10)	5,3	4,5 [a]	5,8 [b]	4,8 [a]	5,9 [c]	5,6 [b]	**0,0001**
Note d'intensité de flaveur (/10)	5,7	5,7 [b]	6,0 [c]	5,2 [a]	5,6 [b]	6,1 [c]	**0,0001**
Age à l'abattage (mois)	33,4	35,0 [b]	34,5 [ab]	32,2 [a]	32,9 [ab]	32,2 [a]	**0,081**
Poids de carcasse froide (kg)	381	382 [ab]	378 [ab]	366 [a]	395 [b]	382 [ab]	**0,096**
Gain de poids vif (g/j de vie)	664	625 [a]	638 [ab]	641 [ab]	688 [b]	682 [b]	**0,038**
Note de développement musculaire (sur 100)	62	62	60	61	60	58	0,315
Note de développement squelettique (sur 100)	60	61 [ab]	65 [b]	62 [ab]	65 [b]	59 [a]	**0,039**
Note d'état d'engraissement en vif (/10)	6,9	6,73	6,67	6,88	6,85	7,08	0,397

Sur une ligne, des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes (p<0,10)

Discussion – Conclusion

Pour un âge donné, les génisses les plus lourdes, c'est-à-dire ayant les gains de poids vif sur la vie les plus élevés, fournissent les viandes les plus tendres, mais également les viandes les plus juteuses et d'intensités de flaveur les plus intenses. A âge égal, l'augmentation du poids de carcasse est donc favorable à la qualité de la viande. Il a en effet été montré par Sanudo *et al.* (2004), lors de la comparaison de taurillons de même âge abattus entre 300 et 550 kg, que l'augmentation du poids de carcasse induit une diminution significative de la force de Warner-Bratzler et de la résistance de la viande. Abattues à âge différent, les génisses les plus jeunes sont à l'origine des viandes les plus tendres, confirmant ainsi la corrélation négative existant entre l'âge à l'abattage et la tendreté de la viande (pour revue Renand *et al.*, 2001). Le gain de poids des génisses jouant un rôle important dans la qualité finale du produit viande, la question se pose de connaître le rôle respectif de l'âge à l'abattage et du poids de carcasse des animaux sur les propriétés sensorielles des viandes.

Références bibliographiques

Oury M. P., 2006. Thèse de doctorat / Université de Bourgogne / ENESAD, 139p.
Renand G., Picard B., Touraille C., Berge P., Lepetit J., 2001. Meat Science, 59, 49-60.
Rhee M. S., Wheeler T. L., Shackelford S. D., Koohmaraie M., 2004. Journal of Animal Science, 82, 534-550.
Sanudo C., Macie E. S., Olleta J. L., Villarroel M., Panca B., Alberti P., 2004. Meat Science, 66, 925-932.
Serra X., Gil M., Gispert M., Guerrero L., Oliver M. A., Sanudo C., Campo M. M., Panea B., Olleta J. L., Quintanilla R., Piedrafita J., 2004. Meat Science, 66, 425-436.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Conseil scientifique de l'ENESAD ainsi que de l'INRA dans le cadre du programme INRA-INAO sur l'étude des relations entre les systèmes de production et la typicité des viandes liée à leur origine géographique.

MISE EN ÉVIDENCE DE QUATRE ISOFORMES DE CHAÎNE LOURDE DE MYOSINE DANS LES FIBRES MUSCULAIRES DE GÉNISSES DE RACE CHAROLAISE

OURY M. P. [1], PICARD B. [2], DELAMARCHE F. [1], BARBOIRON C. [2], DUMONT R. [1]

[1] ENESAD, Equipe SEQAV, 26 boulevard Docteur Petitjean, BP 87999, 21079 Dijon Cedex
[2] INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Equipe C2M, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

Les isoformes de chaînes lourdes de myosine (*myosin heavy chain* – MyHC) MyHC I, MyHC IIa, MyHC IIb et MyHC IIx sont responsables des propriétés contractiles des fibres. Les travaux récents de Chikuni *et al.* (2004) montrent que le gène codant pour la chaîne lourde de myosine (MyHC IIb) est présent dans les muscles squelettiques de bovin mais n'est pas exprimé. Les fibres IIB, impliquées dans des exercices très rapides et de courte durée et renfermant l'isoforme de chaîne lourde (MyHC) IIb, ne sont pas présentes dans cette espèce, qui effectue peu ce type de mouvements. Ainsi, les fibres initialement classées en IIB par les techniques histochimiques, correspondent en fait aux fibres IIX (renfermant la MyHC IIx). Ces fibres IIX ont d'abord été mises en évidence chez les petits mammifères (rat, souris, lapin) puis progressivement chez d'autres mammifères. Elles ont une vitesse de contraction rapide et un métabolisme oxydo-glycolytique intermédiaire entre celui des fibres IIA et IIB qui sont elles-mêmes des fibres rapides mais à métabolisme oxydo-glycolytique et glycolytique respectivement.
Récemment des chercheurs italiens ont montré la présence de MyHC IIb dans les muscles *extraocular* et *rectractor bulbi* du bovin (Maccatrozzo *et al.*, 2004 ; Mascarello *et al.*, 2004) tout en confirmant son absence dans les autres muscles de la carcasse. Par ailleurs, Picard *et al.* (2004) ont pu mettre en évidence sur 5% des taurillons de race Blonde d'Aquitaine, une isoforme de MyHC supplémentaire par rapport aux 3 isoformes (I, IIa, IIb) habituellement observées. Cette isoforme supplémentaire, qui représente en moyenne 42% des MyHC dans le muscle *semitendinosus* et 26% dans le *longissimus thoracis*, correspondrait à la MyHC IIb. L'objectif de la présente étude est donc de vérifier si cette isoforme apparaît dans d'autres races comme la race Charolaise.

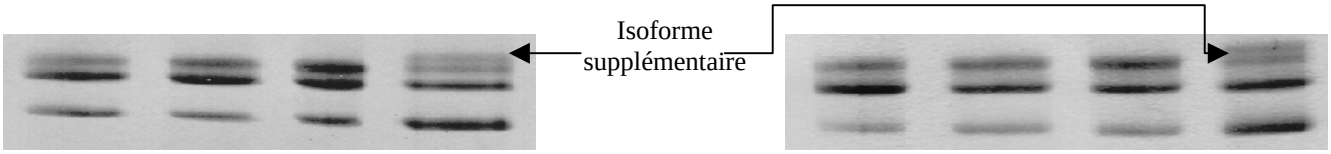
Matériel et méthodes

99 génisses d'une même catégorie commerciale ont été choisies sur des critères de poids de carcasse (supérieur à 330 kg) et de race (Charolaise), entre février 2003 et janvier 2004. L'abattage a été effectué à même état d'engraissement (note de 3/5) à l'abattoir industriel Arcadie Centre-Est de Venarey-les-Laumes. Les animaux ont été abattus à un âge et un poids de carcasse moyens de 33,4 mois et 381 kg respectivement (Oury, 2006). Sur ces animaux, les muscles *rectus abdominis* (RA – bavette de flanchet) et *longissimus thoracis* (LT – faux-filet) ont été prélevés 24 heures *post mortem*. Le muscle RA fait partie des viandes à cuisson rapide. Il est plus riche en lipides intramusculaires et plus oxydatif que le muscle LT (Bauchart et *al.*, 1999 ; Ouali *et al.*, 2005). Le muscle LT peut être considéré comme un muscle de référence pour lequel de nombreux résultats sont disponibles. Les isoformes de myosine ont été séparées en fonction de leur poids moléculaire par électrophorèse SDS-PAGE sur un gradient de polyacrylamide (5 à 8 %) puis quantifiées par densitométrie (Picard *et al.*, 1999). En parallèle, pour chaque muscle, certaines propriétés des fibres musculaires ont été mesurées : l'aire moyenne de la section transversale, l'activité de l'enzyme lactate déshydrogénase (LDH) représentative du métabolisme glycolytique et les activités des enzymes cytochrome C oxydase et isocitrate déshydrogénase (COX et ICDH respectivement) représentatives du métabolisme oxydatif. Une analyse de variance à un facteur a été effectuée à l'aide de la procédure GLM (modèle linéaire généralisé) de SAS 9.1 (SAS Institute, 2002-2003). La comparaison multiple des moyennes ajustées (LSMEAN) a été réalisée en utilisant l'option PDIFF de la procédure GLM.

Résultats - Discussion

Parmi les 99 génisses étudiées, 94 génisses présentent uniquement 3 isoformes de chaînes lourdes de myosine habituellement mises en évidence dans les muscles de bovins (30% I, 36 % IIa et 34 % IIx dans le RA et 24 % I, 43% IIa et 33% IIx dans le LT). Cinq génisses présentent quatre isoformes de chaînes lourdes de myosine dans les deux muscles (figure 1). La quatrième isoforme représente 19,3% du total des myosines dans le RA et 19,1% dans le LT. Ces résultats sont en accord avec ceux de Picard *et al.* (2004) et confirment la présence d'une quatrième isoforme de MyHC qui correspondrait à la MyHC IIb. L'identification de la protéine est en cours de validation à l'aide d'analyses de western-blot à partir d'anti-corps anti MyHC. Ces résultats montrent que l'expression de cette isoforme n'est pas limitée à la race Blonde d'Aquitaine comme le suggéraient les résultats de Picard *et al.* (2004). Toutefois, l'expression de cette isoforme paraît être moins élevée en race Charolaise qu'en race Blonde d'Aquitaine (19,1 % *vs* 26% dans le muscle LT). Les muscles de cette

race ont la particularité de présenter un métabolisme peu oxydatif, ce qui est cohérent avec le fait que les fibres IIB ont un métabolisme très glycolytique et utilisent peu la voie aérobie pour fournir l'énergie nécessaire à la contraction musculaire. En accord avec ces données, nos résultats montrent que les muscles RA contenant 4 isoformes de MyHC ont un métabolisme significativement moins oxydatif (activité de l'enzyme COX plus faible) en comparaison des muscles contenant 3 isoformes (tableau 1). La proportion d'isoformes MyHC IIb est ainsi négativement corrélée à l'activité de la COX ($r = - 0,24$; $p<0,05$). Bien que la même tendance soit notée dans le muscle LT, ces résultats ne sont pas significatifs pour ce muscle dont le métabolisme est plus glycolytique que celui du RA.
L'analyse de l'ascendance et du mode de conduite en élevage des génisses n'a pas permis de mettre en évidence de proximités entre les 5 génisses à l'origine des muscles présentant les 4 isoformes de MyHC.



a) b)

Figure 1 : Illustration de l'isoforme MyHC supplémentaire observée dans les muscles RA (a) et LT (b) pour 5 des 99 génisses de l'échantillon.

Tableau 1 : effet de la présence de la quatrième isoforme de chaîne lourde de myosine sur les propriétés des fibres

	Muscle RA			Muscle LT		
	Présence de 3 isoformes de myosine	Présence de 4 isoformes de myosine	Valeur de p	Présence de 3 isoformes de myosine	Présence de 4 isoformes de myosine	Valeur de p
Effectif	94	5		94	5	
Surface moyenne des fibres (µm²)	3404 ± 1008	2910 ± 880	0,285	2641 ± 616	2594 ± 1079	0,873
Proportion de MyHC I (%)	30,0 ±4,4	30,4 ± 5,1	0,861	24,3 ± 5,7	20,9 ± 2,6	0,192
Proportion de MyHC IIa (%)	**35,9 ± 6,5**	**30,5 ± 2,3**	**0,066**	42,5 ± 11,8	40,8 ± 11,1	0,749
Proportion de MyHC IIx (%)	**34,0 ± 6,8**	**19,8 ± 4,4**	**<0,001**	**33,3 ± 14,5**	**19,2 ± 12,9**	**0,034**
Proportion de MyHC IIb (%)	**0**	**19,3 ± 2,7**	**<0,001**	**0**	**19,1 ± 6,5**	**<0,001**
Activité de l'ICDH (µmol/mn/g)	1,4 ± 0,7	1,4 ± 0,2	0,779	1,3 ± 0,4	1,0 ± 0,4	0,269
Activité de la LDH (µmol/mn/g)	500 ± 61	523 ± 97	0,429	911 ± 128	926 ± 41	0,804
Activité de la COX (µmol/mn/g)	**16,8 ± 3,6**	**12,8 ± 1,5**	**0,014**	10,4 ± 2,7	9,0 ± 1,2	0,256

Moyenne ± écart-type

Conclusion

Cette étude montre que la MyHC IIb serait exprimée dans les muscles d'environ 5% des génisses charolaises. Des analyses complémentaires permettront de préciser les relations pouvant exister entre cette isoforme et les autres propriétés des muscles, en particulier avec la qualité sensorielle de la viande.

Références bibliographiques

Bauchart D., Durand D., Gruffat-Mouty D., Piot C., Graulet B., Chilliard Y., Hocquette J. F., 1999. INRA Prod. Anim., 12 : 273-285.
Chikuni K., Muroya S., Nakajima I., 2004. Meat Sci., 67: 87-94.
Maccatrozzo L., Patruno M., Toniolo L., Reggiani C., Mascarello F., 2004. Europ. J. Histochem., 48 : 357-366.
Mascarello F., Maccatrozza L., Patruno M., Toniolo L., Reggiani C., 2004. Vet. Res. Com., 28 : 201-204.
Ouali A., Santandreu M. A., Aubry L., Boudjellal A., Tassy C., Geesink G. H., Farias-Maffet G., 2005. In : Indicators of milk and beef quality, J.F. Hocquette and S. Gigli (Ed), EAAP Publ. 112, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 391-395.
Oury M. P., 2006. Eléments de différenciation de la qualité sensorielle des viandes liés aux pratiques d'élevage chez la génisse Charolaise. Thèse de doctorat / Université de Bourgogne / ENESAD, 139p.
Picard B., Barboiron, C., Duris M. P., Gagnière H., Jurie C., Geay Y. 1999. Meat Sci., 53 : 1-7.
Picard B., Jurie C., Cassar-Malek I., Barboiron C., Delavaud A., Giraudeau L., Jacob H., 2004. Renc. Rech. Rum., 11 : 122.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier du Conseil Scientifique de l'ENESAD et de l'INRA dans le cadre du programme INRA-INAO sur l'étude des relations entre les systèmes de production et la typicité des viandes liée à leur origine géographique.

CARACTERISTIQUES MUSCULAIRES DES BOVINS DE L'AOC TAUREAU DE CAMARGUE

PICARD B. [1], FIOT I. [2], DURAND D. [1], MICOL D. [1], SANTE-LHOUTELLIER V[3].
[1]INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores ; [2]ENESAD, 26 bd Petitjean, BP 87 999, 21 079 Dijon cedex ; [3]Unité de Recherche dur la Qualité des Produits Animaux, INRA de Clermont-Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

Dès 1992, l'interprofession de l'élevage taurin en Camargue s'est mobilisée afin de valoriser la viande de taureau de Camargue. En 1996 l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) « Taureau de Camargue » a été obtenue. Les élevages concernés par cette AOC correspondent aux deux races locales *Di Biou* et Brave, ou un croisement entre ces deux races rustiques. En moyenne 2000 têtes sont destinées chaque année à la boucherie, ce qui représente près de 300 tonnes de viande. Il s'agit aussi bien de mâles castrés ou non, de vaches de réforme ou de génisses. L'élevage de ces animaux est extensif avec un chargement de une tête en moyenne pour 5 hectares. Le mode d'élevage repose sur l'utilisation de parcours humides ou de zones très sèches (pâturage d'été ou d'hiver). Les troupeaux sont déplacés au rythme des saisons et des disponibilités fourragères, ils ne reçoivent pas d'autre alimentation extérieure. Les propriétés de la viande de ce type de production ont fait l'objet de très peu d'études scientifiques. Aussi, l'objectif de la présente étude était de mieux caractériser les muscles et la viande des bovins de l'AOC Taureau de Camargue et de montrer quelles particularités ils présentent par rapport aux autres races bovines. Les particularités identifiées pourraient à terme être utilisées comme garantie de l'origine raciale des bovins passant dans l'AOC.

Matériel et méthodes

Cette étude a porté sur 40 animaux des deux races de l'AOC : 10 mâles entiers (âge moyen 4 ans) et 10 femelles (âge moyen 6 ans) de chacune des races Brave et *Di Biou*. L'ensemble des animaux issus d'élevages de Camargue, a été abattu à l'abattoir Alazard et Roux de Tarascon. L'attente des animaux avant abattage, s'est faite dans les conditions appliquées par cet abattoir pour tous les animaux. Dans l'heure suivant l'abattage, des échantillons de deux muscles à griller : le *Triceps brachii* (TB, boule de macreuse) et le *Semitendinosus* (ST, rond de gîte) ont été prélevés, congelés dans de l'azote liquide et stockés à -80°C jusqu'aux analyses.
Le pH des muscles a été mesuré à partir de 1g de tissu frais prélevé 45 minutes et 24 heures après l'abattage et broyé au polytron dans une solution de sodium iodo-acétate (Bendall, 1973). Le potentiel glycolytique (PG) du muscle a été déterminé à partir de 1 g de muscle selon le protocole de Monin et Sellier (1985). Il revient à estimer le pouvoir d'acidification du muscle *post mortem* en dosant les réserves énergétiques du muscle c'est à dire le glycogène, le glucose et le glucose-6-phosphate et leur produit de dégradation : l'acide lactique selon la formule : PG = 2 X ([glycogène] + [glucose] + [glucose-6-P]) + [acide lactique] exprimé en µmol/g muscle équivalent lactate.
Les propriétés contractiles des muscles ont été définies par séparation et quantification des isoformes de chaînes lourdes de myosine : MyHC I (lente), IIa (rapide oxydo-glycolytique) et IIx (rapide glycolytique) selon la technique de Picard et al. (1999). Les propriétés métaboliques ont été évaluées par mesures des activités d'enzymes représentatives du métabolisme glycolytique (Lactate deshydrogénase : LDH, Phosphofructokinase : PFK) et oxydatif (Isocitrate deshydrogénase : ICDH, Cytochrome C oxydase : COX, Citrate synthase : CS) sur broyats musculaires (Cassar-Malek et al., 2004 and Gondret et al., 2004).
La couleur des muscles a été mesurée avec un spectrocolorimètre Uvikon 933 dans le système CIE L* a* b*.

Résultats - Discussion

Nous constatons (Tableau 1) que 45 minutes après l'abattage, le pH musculaire ne présentait pas de différences entre les animaux. Par contre, 24 heures après l'abattage, les mâles Brave ont montré des valeurs de pH bien supérieures aux autres animaux mâles, et femelles des deux races. Le potentiel glycolytique, extrêmement faible chez les mâles Brave, est en accord avec ce pH élevé. Ceci s'explique par le fait que les mâles de la race Brave sont très réactifs et montrent des réactions comportementales et sans doute aussi physiologiques, plus prononcées.
Les résultats concernant les propriétés musculaires, montrent que les muscles des animaux de l'AOC, et en particulier le TB, ont une activité ICDH (métabolisme oxydatif) supérieure d'environ 70% par rapport à la moyenne des races à viande. L'activité LDH (glycolytique) est environ 40% plus faible. Ces propriétés sont en accord avec une proportion de fibres

lentes plus élevée (en moyenne 17% pour des charolais) et au contraire une proportion de fibres IIX (rapides glycolytiques) très faibles par rapport aux autres races à viande (en moyenne 40% chez des charolais). Ces résultats sont tout à fait cohérents avec des données obtenues sur des taureaux de race Brave (Picard et al., 2006). Toutefois, la différence est encore plus marquée pour la race *Di Biou* chez qui le métabolisme oxydatif est supérieur à celui de la race Brave (Tableau 1). De telles propriétés s'expliquent par le fait que ces animaux sont élevés prioritairement pour les jeux taurins (course camarguaise pour la race *Di Biou* et corrida pour la race Brave) et n'ont par conséquent, jamais été sélectionnés pour la production de viande. Or, il a été montré que les races sélectionnées sur le développement musculaire ont des muscles plus rapides glycolytiques, inversement les races rustiques ont des muscles plus lents oxydatifs. D'autre part, le métabolisme oxydatif et la proportion de fibres lentes augmentent avec l'âge, et les animaux de cette étude, en particulier les mâles, sont âgés. De plus, ils ne sont pas castrés, or les hormones mâles sont connues pour augmenter le métabolisme oxydatif (Cassar-Malek et al., 1998). Enfin, une alimentation à base d'herbe induit également un renforcement des propriétés lentes oxydatives (pour revue Hocquette et al., 2005). Ces propriétés s'accompagnent d'une couleur rouge sombre de la viande.

	Brave				*Di Biou*			
	Femelles		Mâles		Femelles		Mâles	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
pH 45 minutes	6,83	0,12	6,95	0,09	6,87	0,1	6,96	0,11
pH 24 heures	5,7	0,23	**6,29**	**0,32**	5,7	0,18	5,66	0,16
PG	139,95	31,45	**87,9**	**26,02**	178,91	36,97	167,12	55,05
LDH	582,31	130,12	627,89	178,85	617,46	161,34	492	141,99
ICDH	**3,3**	**0,9**	**2,63**	**0,9**	**4,95**	**1,4**	**4,75**	**1,67**
PFK	61,32	17,97	1,4	21,76	59,81	2,37	54,56	19,97
I	**19,46**	**6,19**	**25,95**	**8,23**	**23,81**	**8,28**	**28,32**	**6,71**
IIA	46,34	8,98	58,21	9,27	52,8	5,13	57,1	9,34
IIX	**34,2**	**11,13**	**15,84**	**10,9**	**21,76**	**9,34**	**16,19**	**10,51**

Tableau 1 : Caractéristiques musculaires moyennes du muscle (TB) des animaux de l'AOC taureau de Camargue
Les chiffres en gras sont significativement différents entre lots, P<0,05 pour %I et IIX, P<0,001 pour ICDH, pH 24 heures et PG

Conclusion

Les muscles des animaux de l'AOC Taureau de Camargue montrent des propriétés particulières de type rouge lent oxydatif. Ces caractéristiques pourraient à terme être utilisées pour l'authentification des bovins de l'AOC. D'autre part, les muscles plus oxydatifs ayant des proportions supérieures de lipides intra-musculaires et une alimentation à base d'herbe influençant favorablement la composition en acides gras de la viande, ces caractéristiques suggèrent des propriétés spécifiques des lipides intra-musculaires de la viande de ces animaux.

Références bibliographiques

Bendall J.R., 1973. Acad. Press N.Y.: pp 243-309.
Cassar-Malek I., Listrat A., Picard B., 1998. INRA Prod. Anim., 11: 365-377.
Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Jurie C., Listrat A., Jailler R. Bauchart D., Briand Y., Picard B., 2004. Anim. Sci., 204: 79-59.
Monin G., Sellier P., 1985. Meat Sci., , 13: 49-63.
Gondret F., Damon M., Jadhao S., Houdebine L.-M., Herpin P., Hocquette J.F., 2004. J. Muscle Res. Cell Motil., 25: 405-410.
Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Listrat A., Jurie C., Jailler R., Picard B., 2005. Cahiers Agricultures, 14: 365-372.
Picard B., Barboiron, C., Duris M. P., Gagnière H., Jurie C., Geay Y., 1999. Meat Sci., 53: 1-7.
Picard B., Santé-Lhoutellier V., Ameslant C, Micol D., Boissy A., Hocquette J.F, Compan H., Durand D., 2006. Revue de Médecine Vétérinaire de Toulouse, sous presse.

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier INRA/INAO. Les auteurs remercient vivement les différentes personnes qui ont contribué à cette étude, en particulier les responsables et les bouchers de l'abattoir Alazard et Roux de Tarascon, les techniciens des Unité URH et QUAPA de l'INRA de Clermont-Ferrand/Theix.

.

ETUDE DE LA STABILITE DE LA COULEUR ET DE L'OXYDATION DES LIPIDES DANS LES VIANDES A.O.C. DE TAUREAU DE CAMARGUE

SANTE-LHOUTELLIER V.[1], GATELLIER PH.[1], PICARD B.[2], FIOT I.[3], DURAND D.[2], MICOL D.[2]

[1]Unité Qualité des Produits Animaux et [2] Unité de Recherche sur les Herbivores, INRA, Centre de Theix, 63122 St Genès Champanelle, France ; [3]ENESAD, 26 bd Petitjean, 21079 Dijon, France

Introduction :

La production de taureaux de Camargue bénéficie d'une appellation d'origine contrôlée, l'A.O.C. « Taureau de Camargue » qui sélectionne les animaux sur leurs aptitudes aux jeux taurins et non sur la production de viande. Les élevages concernés par cette A.O.C. correspondent aux deux races locales Di Biou et Brave ou au croisement entre ces deux races. Cette production ne représente qu'une faible partie de la production bovine française : environ 300 tonnes équivalent carcasse. Elle correspond essentiellement à une consommation locale. Les professionnels de la filière ont constaté un problème de stabilité de couleur de la viande, en particulier sur les mâles Braves. Ils observent une viande beaucoup plus sombre 48 heures après l'abattage pour cette catégorie d'animaux. Peu d'études scientifiques ont été menées sur la qualité de la viande taurine. Afin de répondre aux problèmes rencontrés par la filière, nous avons entrepris de mieux caractériser les phénomènes oxydatifs dans ces viandes par mesure de l'oxydation de la myoglobine, responsable de la couleur de la viande, et de l'oxydation des lipides.

Matériel et méthodes :

Cette étude a porté sur 40 animaux des deux races de l'AOC : 10 mâles entiers (âge moyen 4 ans) et 10 femelles (âge moyen 6 ans) de chacune des races Brave et *Di Biou*. L'ensemble des animaux issus d'élevages de Camargue, a été abattu à l'abattoir Alazard et Roux de Tarascon. L'attente des animaux avant abattage, s'est faite dans les conditions appliquées par cet abattoir pour tous les animaux. Des tranches de 150 g ont été prélevées 48 heures après abattage, emballées sous vide et stockées à 4°C pour le transport de l'abattoir à l'INRA de Theix. Les mesures ont été réalisées 2 heures après ouverture des sacs sous vide et après 5 jours de conservation à 4°C, sous film perméable à l'air et à l'obscurité. Les spectres de réflectance ont été réalisés dans le visible (de 360 à 760 nm) sur un spectrophotomètre Uvikon 933 (Kontron instrument) équipé d'une sphère intégratrice. Les paramètres de couleur ont été déterminés dans le système CIE L*a*b* où L* est la luminosité, a* l'indice de rouge et b* l'indice de jaune. Le taux de myoglobine oxydée en surface (% metmyoglobine) a été déterminé par la méthode de Krzywicki (1978). L'oxydation des lipides a été mesurée par réaction avec l'acide thiobarbiturique (TBA) selon la méthode de Lynch et Frei (1993). Le potentiel antioxydant (PAO) a été estimé par le test ABTS (Miller *et al*., 1993). Les différents effets, race, sexe, et muscle ainsi que leurs interactions ont été évalués par analyse de variance (logiciel SAS).

Résultats et discussion :

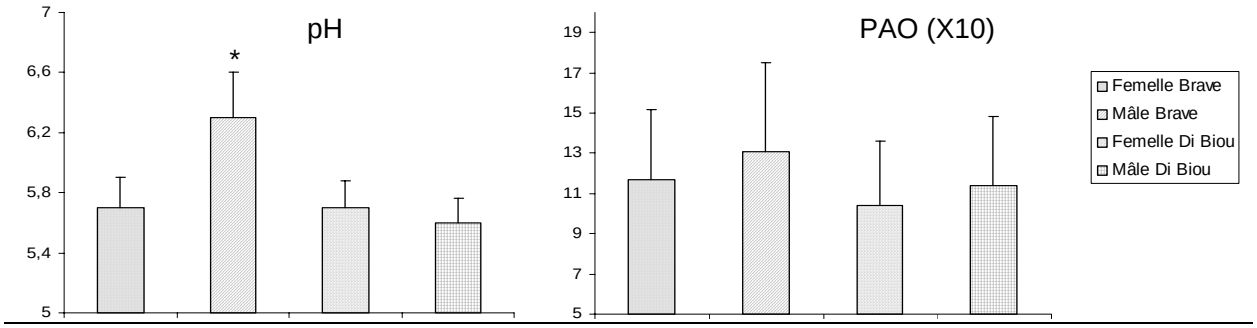
<u>1- Analyse de la couleur et de l'oxydation des lipides 48 heures après abattage (et réoxygénation de 2 heures):</u>
Les résultats de l'analyse de variance sur la couleur et l'oxydation des lipides sont présentés dans le tableau 1. L'effet qui ressort le plus est l'effet muscle. Toutes races et tous sexes confondus, on observe un effet muscle sur tous les paramètres de couleur ; le muscle ST étant à la fois plus clair (L* ST = 35,6 %et L* TB = 28,9%) et plus rouge (a* ST = 21,6 et a* TB = 19,6) que le muscle TB. L'effet race n'est observé que sur la luminosité et sur la teneur en myoglobine oxydée (metmyoglobine). Le niveau d'oxydation de la myoglobine est plus faible chez les animaux Brave que chez les Di Biou (metmyoglobine : Brave = 27,7 % et Di Biou = 28.8 %). Une interaction race x sexe très forte limite toutefois la portée de ce résultat. Les animaux Brave présentent des valeurs de luminosité nettement plus faibles et donc une couleur beaucoup plus foncée que les Di Biou (L* Brave = 30,7% et L* Di Biou = 33.9%). L'effet sexe ne ressort que sur la teneur en metmyoglobine avec une viande un peu moins oxydée chez les femelles. Le test TBA ne montre qu'un effet race avec, comme dans le cas de la myoglobine, une oxydation des lipides plus élevée (supérieure de 50%) chez les animaux Di Biou.
Ces résultats, montrant des viandes plus sombres dans le cas des animaux Brave, confirment les observations des bouchers. Les animaux Braves présentent un phénomène de « viande à coupe sombre » bien connu dans la viande bovine. Ce phénomène n'est pas lié au processus oxydatif, puisque les Brave ont des niveaux d'oxydation de la myoglobine et des lipides plus faibles que les Di Biou et un potentiel antioxydant légèrement supérieur aux Di Biou (figure 1). Le facteur responsable de ces viandes sombres est sans doute le pH (figure 1) car nous avons mesuré un pH à 24 heures *post-mortem* très supérieur chez les mâles Brave (6,3 au lieu de 5,7 chez les autres animaux). Cette acidification très limitée chez les mâles Brave est reliée au potentiel glycolytique plus faible de ces animaux au moment

de l'abattage. La mesure de l'activité ICDH, enzyme du métabolisme oxydatif, confirme le caractère plus oxydatif des muscles des Di-Biou (Picard *et al.*, 2006).

Tableau 1 : Résultats de l'analyse de variance portant sur les paramètres de couleur et d'oxydation, mesurés 48 heures après abattage. (NS : non significatif ; * p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001).

	Race	Sexe	Muscle	Race x Sexe	Muscle x Sexe	Muscle x Race
L*	*	NS	***	*	NS	NS
a*	NS	NS	***	NS	NS	**
b*	NS	NS	***	**	*	*
MetMB	*	*	***	***	NS	NS
TBA	**	NS	NS	NS	NS	NS

Figure 1 : pH 24 heures *post-mortem* et potentiel antioxydant (µmol.) chez les femelles et les mâles des deux races.



2- Mesure de la stabilité de couleur lors d'une conservation à l'air de 5 jours : La figure 2 présente l'évolution des paramètres de couleur, mesurée lors d'une conservation de 5 jours. Pour la race Brave c'est la viande des femelles qui présente la plus grande instabilité de couleur (mesurée par a*) alors que pour la race Di Biou c'est la viande des mâles. Le phénomène qui ressort le plus de la figure 2 est l'assombrissement beaucoup plus marqué des femelles Di Biou, avec une chute de L* de plus de 8 % au cours de la conservation. Ces évolutions différentes des paramètres de couleur lors de la conservation ont pour effet de gommer les différences observées initialement. En particulier, après 5 jours de conservation, on ne retrouve plus l'effet sur la luminosité observée 48 heures après l'abattage.

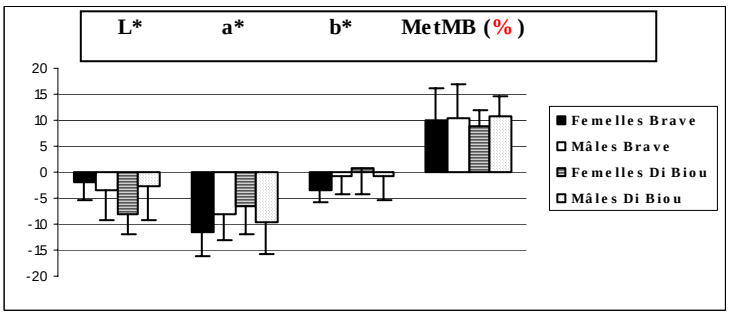


Figure 2 : Evolution des différents paramètres de couleur chez les femelles et les mâles des deux races (tous muscles confondus), lors d'une conservation à l'air de 5 jours.

Conclusion :

Cette étude confirme l'aspect plus sombre de la viande des animaux Brave observé par les bouchers 48 heures après l'abattage, et ceci malgré des niveaux d'oxydation plus faibles que chez les Di Biou. Ce défaut de couleur, dû à un pH ultime trop élevé, est un problème initial puisqu'il n'apparaît plus après 5 jours de conservation.

Références :

Krzywicki K., 1978. Meat Sci., 3, 1-10.
Lynch S.M., Frei B., 1993. J. Lipid Res., 34, 1745-1751.
Miller N.J., Rice-Evans C., Davies M.J., Gopinathan V., Milner A., 1993. Clinical Sci., 84, 407-412.
Picard B., Fiot I., Durand D., Micol D., Santé-Lhoutellier V., 2006. Dans cette même revue.

Remerciements

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier INRA/INAO. Les auteurs remercient vivement les différentes personnes qui ont contribué à cette étude, en particulier les responsables et les bouchers de l'abattoir Alazard et Roux de Tarascon, les techniciens des Unité URH et QUAPA de l'INRA de Clermont-Ferrand/Theix.

Contribution à l'étude du déterminisme biologique du pH ultime dans le muscle de poulet

FERNANDEZ X.[1], EL RAMMOUZ R.[1], SANTE-LHOUTELLIER V.[2], MOLETTE C.[1], REMIGNON H.[1] & BABILE R.[1]

[1] EA 3014 Zootechnie et Qualités des Produits Animaux, USC INRA – PHASE, ENSAT, BP 32607, 31326 CASTANET TOLOSAN CEDEX
[2] Unité QuaPA, INRA, Centre de Clermont-Theix, 63122 SAINT GENES CHAMPANELLE

Introduction

L'amplitude de la diminution du pH dans le muscle *post mortem* (appréciée par la mesure du pH ultime ou pH_u) est un des principaux facteurs de variation des qualités technologiques et organoleptiques des viandes, quelle que soit l'espèce considérée (*e.g.* Monin, 1988). Le pH_u est principalement déterminé par la concentration musculaire de glycogène au moment de l'abattage (Bendall, 1973). Néanmoins, chez les oiseaux, nos résultats suggèrent que l'intensité de cette liaison, sur le plan phénotypique, est moins forte que chez les mammifères et qu'elle varie selon le type génétique et l'itinéraire de production des animaux (poulets de type standard *vs* label) (El Rammouz *et al*., 2004). Une part importante de la variabilité du pH_u chez les oiseaux (jusqu'à 50 % dans certains cas) reste donc inexpliquée. Dans cette étude, nous avons comparé le sub-protéome sarcoplasmique de groupes de poulets de type 'label' et 'standard' qui diffèrent sur le plan du pH ultime mais présentent des concentrations similaires de glycogène dans le muscle pectoral à l'abattage.

Matériel et méthodes

Les 10 poulets de chaque type génétique (souche à croissance lente ou rapide) et de chaque type de production utilisés dans cette expérience sont extraits d'un groupe de 60 poulets élevés dans les conditions habituelles de chacune des productions (label et standard). Ils sont abattus le même jour en conditions expérimentales par saignée après étourdissement mécanique avec un pistolet à tige perforante. Un échantillon de muscle pectoral est prélevé à 3 min, 12 h et 24 h *post mortem*. Le pH est mesuré à 3 min *post mortem* après broyage de 2 g de muscle dans 8 ml de iodoacétate 5 mM. L'activité de l'AMP désaminase musculaire (AMPd) est mesurée selon la méthode décrite par El Rammouz *et al.* (2004). Le potentiel glycolytique est déterminé à 3 min *post mortem*, les concentrations de glycogène et d'acide lactique à 1 h et 24 h *post mortem*, selon Monin & Sellier (1985). Pour chacun des types de production, 2 groupes de 5 animaux sont choisis de telle sorte que les valeurs de PG à 3 min *post mortem* soient similaires mais que les valeurs de pH ultime diffèrent (1 groupe à pH_u 'bas' et un à pH_u 'élevé' ; tableau 1). L'analyse protéomique est effectuée sur les muscles pectoraux congelés 3 minutes *post mortem*. L'extraction et l'électrophorèse bidimensionnelle des protéines sarcoplasmiques de ces deux groupes sont réalisées selon la méthode décrite par Santé-Lhoutellier *et al.* (2004). Après coloration à l'argent, les gels, réalisés en triplicat, sont scannés et analysés avec le logiciel PDQuest (Bio-Rad). Les spots d'intérêt sont alors excisés puis identifiés par spectrométrie de masse (Maldi-TOF).

Résultats et discussion

Chez les deux types de poulets, les deux groupes de pH_u ne varient pas sur le potentiel glycolytique qui est une estimation des réserves énergétiques du muscle susceptibles de produire de l'acide lactique *post mortem* (tableau 1). A 12 h et 24 h *post mortem*, les deux groupes triés sur le pH_u ne montrent pas de différence pour la quantité d'acide lactique accumulé *post mortem*, ce qui indique bien que dans le cas présent, les différences de pH ultime ne sont pas liées à la voie glycolytique *sensu stricto*. Il est notable que les deux groupes ne diffèrent pas sur la mesure du pouvoir tampon (résultats non montrés) ce qui aurait pu expliquer qu'une même quantité d'acide lactique accumulé dans la cellule musculaire ne génère pas la même chute du pH. Chez les poulets de type standard, l'activité de l'AMPd est significativement supérieure dans le groupe pH_u élevé, ce qui est en accord avec le rôle potentiel de cet enzyme dans le déterminisme du pH_u récemment discuté chez le poulet par El Rammouz *et al.* (2004). Notons que sur les 10 animaux standard, la corrélation entre le pH_u et l'activité de l'AMPd est $r = 0.77$ ($p < 0.01$). Une activité supérieure de l'AMPd est supposée être associée à une disparition plus précoce de l'AMP, un co-facteur d'enzymes glycogénolytique et glycolytique, entraînant ainsi un arrêt plus précoce de la glycogénolyse et de la glycolyse. Or, les quantités d'acide lactique accumulé dans la cellule ne diffèrent pas entre les deux groupes de pH chez les poulets 'standard' et ceci n'est pas compatible avec l'hypothèse selon laquelle l'AMPd est impliquée dans le déterminisme du pH_u.
L'analyse du protéome a été conduite, dans un premier temps, chez les animaux de type Label. L'analyse des gels a mis en évidence 14 spots présentant une différence de densité entre les groupes pH_u bas et pH_u élevé (rapport de densité > 2) (un exemple de gel master est montré sur la figure 1). Parmi 14 spots, 8 ont été identifiés par spectrométrie de masse. Trois des protéines identifiées et qui sont « surexprimées » chez les animaux à pH_u haut correspondent à des enzymes impliquées dans le métabolisme énergétique du muscle : la phosphopyruvate hydratase (ou énolase), l'aldéhyde déhydrogénase et la phospho-ribosyl-pyrophosphate synthétase (PRS1) (les spots correspondant à ces 3 enzymes sont

montrés sur la figure 1). Une autre protéine impliquée dans la réponse cellulaire au stress oxydant (DJ-1 protein) est également sur-exprimée dans le groupe à pH_u élevé. Les voies par lesquelles les deux premières enzymes pourraient contribuer aux différences de pH_u sont difficiles à identifier. La PRS1 est impliquée dans les voies de synthèse des nucléotides puriques et pyrimidiques, voies dans lesquelles l'AMPd est également impliqué. Le lien entre ces enzymes et le rôle de ces voies métaboliques dans le déterminisme du pH_u reste à évaluer.

Figure 1 : "Gel master" des muscles pectoraux de poulets de type Label montrant les spots différant par leur intensité entre les groupes 'pH_u haut' et 'pH_u bas' (partie gauche de la figure) et exemples de grossissement de spots exprimés de façon différentielle entre les deux groupes.

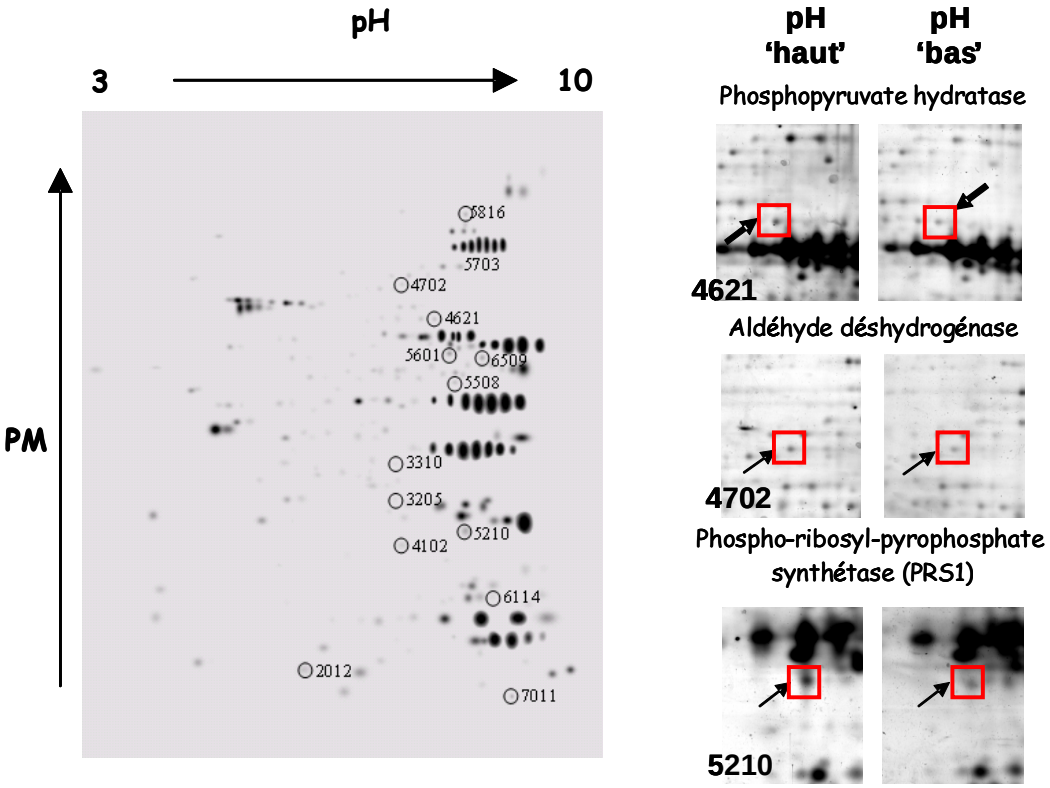


Tableau 1 : Caractéristiques métaboliques des muscles pectoraux des poulets retenus pour l'analyse du protéome

	Standard (n= 10)		**Label** (n= 10)	
	pH_u 'bas'	**pH_u 'élevé'**	**pH_u 'bas'**	**pH_u 'élevé'**
AMPd (mUI)	0.2 ± 0.01 [a]	0.74 ± 0.01 [b]	0.54 ± 0.03	0.49 ± 0.02
PG[1] à 3 min *post mortem*	98 ± 4	100 ± 4	98 ± 3	96 ± 4
pH_u (12 h *post mortem*)	5.68 ± 0.01 [a]	5.90 ± 0.05 [b]	5.70 ± 0.02 [a]	5.85 ± 0.01 [b]
12 h post mortem				
Glycogène (µmol/g)	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.3	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Lactate (µmol/g)	121 ± 2	119 ± 1	117 ± 2	114 ± 2
24 h post mortem				
Glycogène (µmol/g)	0.4 ± 0.1	0.4 ± .06	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1
Lactate (µmol/g)	115 ± 3	111 ± 3	114 ± 3	117 ± 3

[ab], pour un type génétique donné, des lettres différentes indiquent une différence significative au seuil α= 0.05.
[1], Potentiel glycolytique : 2([glucose]+[glucose-6-phosphate]+[glycogène]) + [acide lactique], en µmol de lactate/g.

Références

Bendall J.R., 1973. *In*: Structure and Function of Muscle. ed. G. H. Bourne, Academic Press, New York, pp 243-309.
El Rammouz R., Berri C., Le Bihan-Duval E., Babilé R. & Fernandez X., 2004. Poultry Science, 83, 1445-1451.
Monin G. & Sellier P., 1985. Meat Science, 13, 49-63.
Monin G., 1988. *In :* Journées de la Recherche Porcine en France, 20, 201-214.
Santé-Lhoutellier V., Le Pottier G., Sayd T. & Monin G., 2004. *In:* Proceed. 50th ICoMST, pp 56, 8-13 august, Helsinki, Finland.

HYDROPHOBICITE DES PROTEINES MYOFIBRILLAIRES : APPLICATION AU MODELE PSE

THERON L., GATELLIER Ph., DEISS V., SAYD T. & SANTE-LHOUTELLIER V.
Unité Qualité des Produits Animaux, INRA, Centre de Theix, 63122 St Genès Champanelle, France

Introduction :
Le phénomène PSE (pale soft exudative) est bien connu chez le porc et chez les volailles. Ce problème se traduit par une viande pâle avec un pouvoir de rétention d'eau faible et une texture pâteuse (Penny, 1969). L'accélération de la glycolyse qui se produit *post mortem*, a pour conséquence une chute rapide du pH alors que la température de la carcasse est encore élevée. L'impact de cette combinaison pH bas/ température élevée sur la composante protéique a été étudiée en terme de dénaturation notamment des protéines sarcoplasmiques (Wismer-Pedersen, 1963 ; Sosnicki *et al*., 1998) et au niveau des interactions avec les protéines myofibrillaires (Wilson & van Laack, 1999). La dénaturation des protéines entraîne des modifications des structures secondaires et tertiaires qui vont augmenter l'hydrophobicité de surface par une extériorisation des groupements hydrophobes. La solubilité des protéines et leur extractabilité pourraient être affectées ainsi que le pouvoir de rétention d'eau. Or, les protéines myofibrillaires, majoritairement représentées dans la cellule musculaire, déterminent, d'après van Laack, (1999) plus de 50% du pouvoir de rétention d'eau. Cela s'explique notamment par la réduction de l'espace interfilaments, due à la formation *post mortem* du complexe actomyosine et par la dénaturation des têtes de myosine (Offer, 1991). Pour évaluer la dénaturation des protéines myofibrillaires dans les muscles PSE de dinde, l'étude des changements de conformation des protéines par la mesure de leur hydrophobicité a été entreprise.

Matériel et méthodes :
Cette étude est réalisée sur 20 dindes BUT9 âgées de 12 semaines. Après l'abattage, les muscles *Pectoralis superficialis* sont prélevés, mis sous vide et placés dans un bain-marie pendant 30 minutes, l'un à 42°C (simulation du caractère PSE) et l'autre à 25°C (témoin). Après le traitement thermique, les muscles sont placés pendant deux heures à 20°C puis réfrigérés à 4°C. Le pH est mesuré à différents temps *post mortem* (0', 30' et 24h) à partir d'un homogénat de 2g de muscle broyé dans 18 mL d'une solution d'iodoacétate à 0.055M. La matière sèche est déterminée après l'excision du muscle (T0) et à 24h selon la norme NF U44-110. La solubilité des protéines à faible force ionique est mesurée, aux différents temps *post mortem*, après extraction d'un g broyé dans 10 mL de tampon phosphate 0,025M, pH 7,2. L'extraction des protéines myofibrillaires pour la mesure d'hydrophobicité nécessite de conserver la structure secondaire et tertiaire des protéines (méthode de Wu & Smith (1987) que nous avons adaptée). L'hydrophobicité de surface est mesurée en utilisant une sonde fluorescente (ANS, acide 8-anilino-1-naphtalène sulfonique) se fixant sur les sites hydrophobes des protéines (λex = 380nm, λem = 480nm). L'hydrophobicité de surface de la protéine correspond à la pente à l'origine de l'équation suivante (Bertsch *et al*., 2003):

Indice de fluorescence (IF) = f [protéines]

L'exsudat de la viande est mesuré après 2 jours et 7 jours de conservation.
L'effet du traitement thermique est analysé par une analyse de variance. Une régression multiple pas à pas est effectuée pour déterminer les variables explicatives de la variation d'exsudat (SAS, Statistica).

Résultats et discussion :
1- Evolution du pH, de la matière sèche, de la solubilité à faible force ionique et de l'hydrophobicité des protéines
L'évolution du pH *post mortem* est influencé par le traitement thermique ($p<0.05$) : à 30 minutes le pH du muscle est inférieur d'environ 0.3 unité pour le groupe PSE. Ce résultat traduit une accélération de la glycogénolyse. Quant au pH ultime, il n'est pas affecté (figure 1). La matière sèche mesurée à T0 ne montre pas de différence entre les muscles des deux groupes. Cependant, à 24h *post mortem*, le taux de matière sèche moyen du groupe PSE est significativement supérieur à celui du groupe témoin (figure 2). Cette différence peut s'expliquer par une libération d'eau dans le sac sous vide due au traitement thermique qui aurait conduit à augmenter le ratio protéines/eau.
L'hydrophobicité des protéines myofibrillaires est pratiquement stable dans les premières 24 h dans les muscles du groupe Témoin (figure 3). Pour le groupe PSE, elle tend à être supérieure ($p<0,07$) au groupe témoin à 30 minutes et augmente au cours du temps. L'augmentation d'hydrophobicité s'explique par des changements de conformation des protéines induisant une extériorisation des groupements hydrophobes des acides aminés. De même, à 24h, l'hydrophobicité des protéines sarcoplasmiques est supérieure dans le groupe PSE, alors que la solubilité des protéines à faible force ionique n'est pas significativement affectée par le traitement thermique.

2- Prédiction de l'exsudat
D'une manière générale, l'exsudat augmente au cours de la conservation (figure 4). Après deux jours de conservation, l'exsudat est supérieur dans le groupe PSE, et cette différence subsiste au cours de la conservation ($p<0.05$). L'analyse par régression multiple de la variation d'exsudat montre que la vitesse de diminution de pH, estimée par le pH 30min est déterminante, ainsi que, dans une proportion moindre la solubilité à 30 minutes et le niveau d'hydrophobicité des

protéines myofibrillaires. Le pH 30 min explique 44% de la variation d'exsudat à J2, et 20% pour J7. A l'inverse, la part explicative de l'hydrophobicité des protéines myofibrillaires augmente de 25% entre J2 et J7. Il apparaît qu'un changement de conformation des protéines myofibrillaires interviendrait dans le déterminisme de l'exsudat, extériorisant des régions hydrophobes de la protéine, initialement au cœur, ayant pour conséquence de modifier les liaisons eau-protéine. Cependant, ce processus semble assez lent.

La capacité de rétention d'eau d'une viande est l'expression des modifications *post mortem* qui affectent les protéines. L'augmentation de l'hydrophobicité des protéines myofibrillaires apporte un élément explicatif à l'étude menée sur la viande PSE de dinde (Molette *et al.*, 2003) qui soulignait la réduction de l'extractibilité des protéines myofibrillaires lorsque les muscles étaient maintenus à 40°C pendant 6h après la mort de l'animal. A partir de protéines myofibrillaires purifiées, Chelh *et al*. (2006) ont montré une augmentation d'environ 20% de l'hydrophobicité lorsque ces dernières étaient chauffées de 30° à 40°C pendant 30 min.

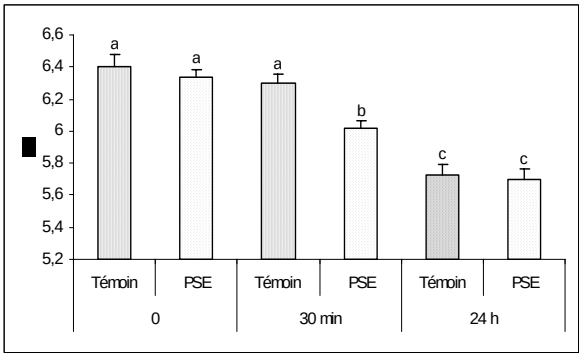


Figure 1 : Évolution du pH *post mortem* dans le muscle *Pectoralis superficialis* des dindes Témoin et PSE

Figure 2 : Détermination de la matière sèche à 24h *post mortem* dans le muscle *Pectoralis superficialis* des dindes Témoin et PSE

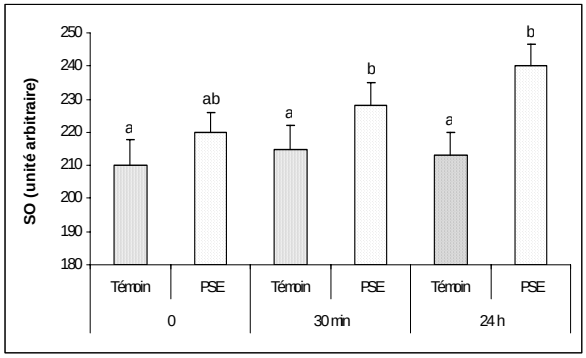


Figure 3 : Évolution de l'hydrophobicité des protéines myofibrillaires dans le muscle *Pectoralis superficialis* des dindes Témoin et PSE

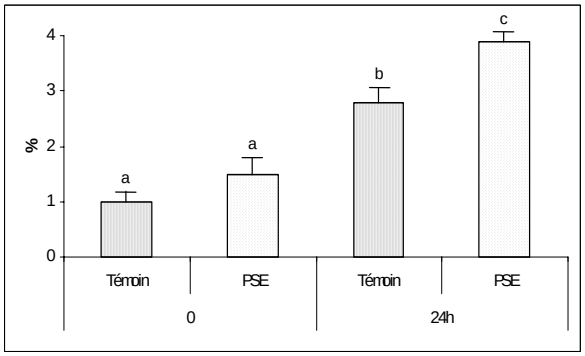


Figure 4 : Évolution de l'exsudat dans le muscle *Pectoralis superficialis* des dindes Témoin et PSE

Conclusions

L'altération de la capacité de rétention d'eau est une des caractéristiques d'une viande PSE. La mesure de l'hydrophobicité des protéines de ces viandes permet d'étudier le phénomène de dénaturation qui affecte les protéines *post mortem*. Nos résultats montrent que l'augmentation de l'hydrophobicité des protéines myofibrillaires explique une part de la variation d'exsudat de la viande PSE. Ce phénomène étant assez lent, le modèle pourrait être amélioré en évaluant au cours de la conservation les changements d'hydrophobicité. En effet, les changements de conformation des protéines même initiés par un traitement thermique semblent nécessiter un certain temps avant que l'on puisse en mesurer les effets.

Reférences

Bertsch M., Mayburd A.,& Kassner R., 2003 *Analytical Biochemistry*, 15: 187-195
Chelh I., Gatellier Ph., Santé-Lhoutellier V. 2006 *Meat science (sous presse)*
Molette C., Rémignon H., & Babilé R., 2003 *Meat Science*, 63-4 :525-532
Penny I, 1969 *J. Food Technol*. 4:269-273
Wismer-Perdersen J., 1963. *Fleischwirtsch.*, 15: 409.
Wu F. T.& Smith S. B., 1987. *J. Anim. Sci.*, 65 : 597-608
Sosnicki A., greaser M, Pietrzak M, Pospiech E. & Santé V. 1998. *J. Muscle Food* 9: 13-23
Wilson G. & van Laack R. 1999 *J. Sci Food Agric*. 79:1939-1942
Van Laack Riëtte J. L. M., 1999. *Quality Attributes of Muscle Foods*. 309-320.

LA CARTE PROTEOMIQUE : UN OUTIL POUR LA DETERMINATION DE MARQUEURS DES QUALITES DE LA VIANDE DE PORC.

KWASIBORSKI A., SAYD T., CHAMBON C., LAVILLE E., SANTE-LHOUTELLIER V., TERLOUW C.

Qualité des Produits Animaux, INRA, Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

Introduction

Les qualités technologiques et sensorielles des viandes sont influencées par le métabolisme musculaire *post mortem* et donc par le niveau d'expression des protéines au moment de l'abattage. L'analyse protéomique par électrophorèse bidimensionnelle (2D) couplée à la spectrométrie de masse permet de déterminer parmi le nombre important de protéines, celles qui ont des liens avec les facteurs de variation ainsi que l'état physiologique de l'animal au moment de l'abattage, et/ou les qualités des viandes puis de les identifier chimiquement. Ici nous présentons l'intérêt d'harmoniser les protocoles de laboratoire pour permettre la superposition ou comparaison des gels de plusieurs études et de constituer une carte protéique de référence. D'une part, elle permet de combiner les informations pour compléter une partie des identifications manquantes. D'autre part, l'utilisation de l'ensemble des données contenues dans la carte résultante permet de dégager les liens robustes entre le niveau d'expression des protéines et les caractéristiques du muscle *post-mortem*. Nous présentons une première approche combinant deux études ayant une méthodologie commune mais des objectifs expérimentaux différents.

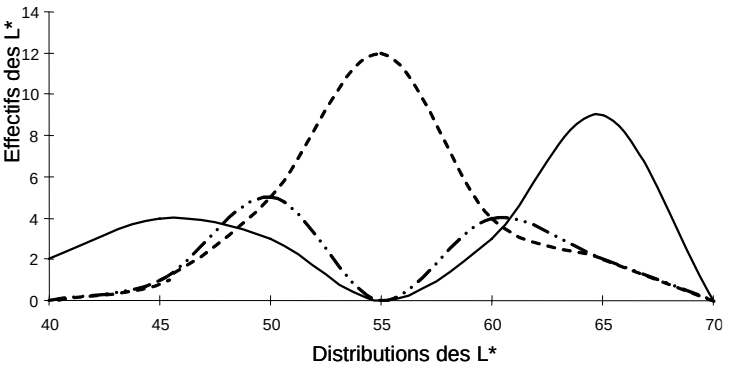
Matériels et méthodes

Pour l'étude 1, mille porcs issus d'un croisement F2 entre des Piétrain et des porcs croisés Large White x Duroc x Hampshire sont élevés de manière conventionnelle et abattus à un poids moyen de 110kg. Pour l'étude 2, 12 males castrés et 12 porcs femelles provenant d'un croisement F1 de femelles Large White x Landrace et de males Duroc (D) ou Large White (LW) sont élevés soit sur parcelle extérieure soit sur caillebotis à l'intérieur et abattus à 150 kg. Les études protéomiques et les mesures de qualités des viandes concernent le muscle *semimembranosus* (SM) et le *longissimus lumborum* (LL), pour les études 1 et 2, respectivement. Cinq minutes après l'abattage, les prélèvements destinés à l'analyse protéomique sont effectués et congelés dans de l'azote liquide. A 45 min, des prélèvements sont réalisés pour la détermination du potentiel glycolytique. A 24h après l'abattage, des mesures de pH et de luminosité L*, indice de rouge a* et de jaune b* sont effectuées directement sur la carcasse (chromamètre CR 300, Minolta). Pour l'étude 1, les 12 porcs avec le L* le plus faible (viande sombre) et les 12 porcs avec le L* le plus élevé (viande claire) ont été sélectionnés pour l'approche protéomique alors que l'ensemble des animaux ont été sélectionnés pour l'étude 2.
L'extraction des protéines sarcoplasmiques et l'électrophorèse 2D (gradient de pH 5 – 8 et 12% SDS-PAGE) ont été effectuées suivant le protocole décrit par Sayd et al. (2006). Les intensités de chaque spot sont alors déterminées en utilisant le logiciel PDQuest (Bio-Rad). Les études statistiques réalisées (ANOVA, régressions) sont basées sur ces intensités. Les protéines d'intérêts sont identifiées par spectrométrie de masse MALDI-ToF. Pour chaque étude, un gel master est créé par PDQuest regroupant les intensités de l'ensemble des spots présents sur les gels de l'ensemble des animaux.

Résultats et discussion

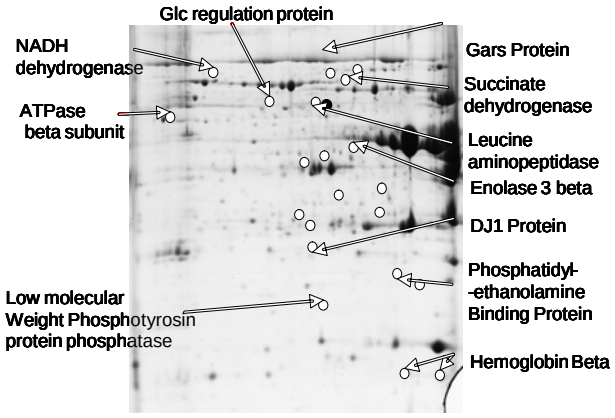
L'étude 1 a déterminé 27 protéines dont l'expression était différente entre les viandes sombres et claires, dont 22 ont été identifiées. L'étude 2 a déterminé 122 protéines dont l'expression est influencée par le mode d'élevage, la race, le sexe ou l'une de leurs interactions, dont 109 ont été identifiées. La similarité des profils des deux gels master a permis leur superposition et l'identification totale de 149 protéines influencées par au moins l'un des facteurs étudiés dans l'une ou l'autre des études.

Figure 1 : Distribution des valeurs de L* : Pour l'étude 1 (continue) et pour l'étude 2, avec les 12 L* extrêmes (tirets et points) et avec les 24 animaux de l'étude (pointillée).



Pour l'étude 2, les 6 porcs avec le L* le plus bas et les 6 porcs avec le L* le plus élevé ont été retenus (Fig. 1) afin d'effectuer une analyse de variance globale des deux études (2 facteurs de variation : étude et groupe L*). Vingt-six protéines sont exprimées différemment selon le groupe d'appartenance L* permettant la création d'un gel représentant le profil protéique du L* pour ces études (Fig. 2). Ce profil peut évoluer et devenir plus complet en additionnant des données d'autres études ayant des informations sur l'expression des protéines et la luminosité de la

Figure 2: Carte protéique de la luminosité (L*), les protéines influencées avec le L* dans les 2 études ont été placées dur un gel.



viande. La présence récurrente d'une protéine confirme la relation de cette protéine avec le L* et peut être un marqueur candidat de cette qualité de viande. L'approche permet également d'approfondir l'étude du rôle de certaines protéines dans le déterminisme du L* de la viande. Par exemple, pour les 2 études, le niveau d'expression de la succinate déshydrogénase (SDH), enzyme du cycle de Krebs qui transforme le succinate en fumarate avec formation de $FADH_2$, est inférieur dans le groupe des viandes au L* élevé (viande claire) (fig.3). L'utilisation des données des 48 porcs des 2 études, permet de rechercher des corrélations entre l'expression des protéines et les indicateurs de qualité de viande. Cette approche montre que la SDH est corrélée négativement avec le L* mais également avec le potentiel glycolytique à 45 min post-mortem dans les 2 études ($p<0,01$; fig.4). Ces résultats s'accordent avec ceux de Fazarin et al (1995) qui démontraient que chez le porc, les muscles glycolytiques et de couleur claire (L* élevé), LL et SM, présentaient un niveau d'activité de SDH faible par rapport à des muscles plus oxydatifs et de couleur plus sombre comme le *trapezius* ou le *serratus ventralis*.

Dans certains cas, l'utilisation des données de plusieurs études pour l'analyse des corrélations peut faciliter la mise en évidence de liens entre variables. Ainsi, nous montrons que 19 protéines étaient corrélées avec 5 indicateurs de qualité de viande (28 corrélations). Par exemple, la protéine DJ-1, une protéine chaperone, est corrélée négativement avec le pH ultime (pHu) dans l'étude 1 ($r = 0,68$), mais pas dans l'étude 2 ($r = 0,30$). Cependant, la corrélation globale est significative ($r = 0,61$) (fig.5).

Figure 3 : Niveau d'expression de la succinate déshydrogénase en fonction des groupes de L* et pour les deux études

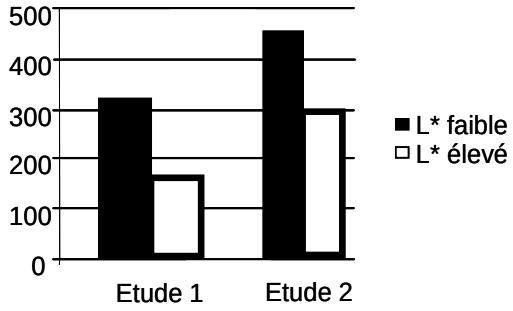


Figure 4 : Corrélation entre l'expression de la SDH et le L * pour l'étude 1 (r= 0.46) et 2 (r= 0.42)

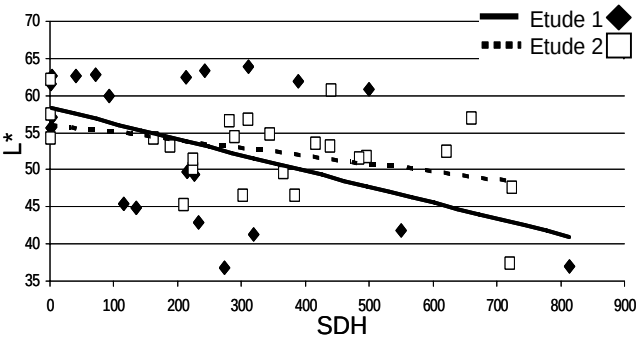
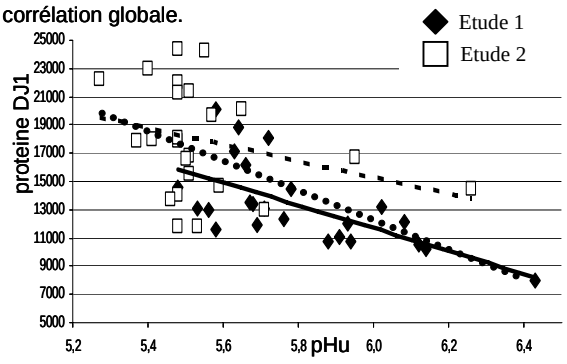


Figure 5 : Corrélation entre la protéine DJ-1 et le pHu., ▬ la corrélation entre DJ-1 et le pHu dans l'étude 1, ▬ ▬ , la même corrélation mais dans l'étude 2 et corrélation globale.



Conclusion

La superposition de masters provenant de différentes études utilisant un même protocole pour l'électrophorèse 2D est tout à fait faisable et permet l'identification d'une partie des protéines. Il est également possible d'effectuer des comparaisons de moyennes sur des échantillons comparables provenant de différentes études pour identifier les effets robustes des facteurs de variation communs. Enfin, une approche par corrélation permet de dégager des corrélations sur l'ensemble des données. Ces approches ont montré, par exemple, que l'expression de la SDH dans le muscle est corrélée avec la luminosité L* dans les 2 études et celle de la protéine DJ-1 est corrélée avec le pHu. Enfin, la carte protéique constitue une aide à la recherche de marqueurs potentiels pour les qualités des viandes.

Bibliographie

Sayd T., Morzel M., Chambon C., Franck M., Figwer P., Larzul C., Le Roy P., Monin G., Cherel P. and Laville E. 2006. J. Agric. Food. Chem., 54, 2732-2737.

Fazarin G., Majdic G., Lorger J., Poganik A. and Bavdek S.V. 1995. Eur. J. Histochem., 39, 309-316.

EFFET DU SEXE SUR L'EXPRESSION DES PROTEINES SARCOPLASMIQUES

KWASIBORSKI[1] A., SAYD[1] T., CHAMBON[1] C., SANTE-LHOUTELLIER[1] V., ROCHA D.[2] ET TERLOUW[1] C.

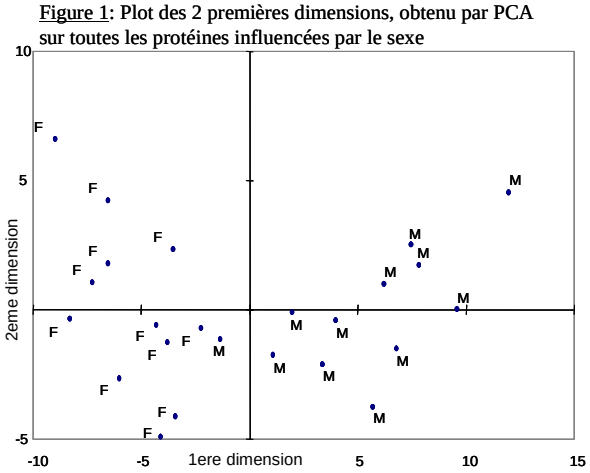
1 QuaPA, INRA de Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France
2 Genus-plc, Department of Pathology, University of Cambridge, Tennis Court Road, Cambridge CB2 1QP, United Kingdom.

Introduction :
Les qualités des viandes de porc montrent une forte variabilité, en partie due à des variations dans le métabolisme énergétique musculaire post-mortem. Celui-ci est à l'origine de l'accumulation de protons et de lactate, entraînant une baisse du pH. D'autres évolutions biochimiques dans le muscle post-mortem, l'oxydation des lipides et la protéolyse, sont également importants dans le déterminisme des qualités des viandes. La composition protéique du cytoplasme (expression des protéines) des cellules musculaires au moment de l'abattage peut orienter le métabolisme musculaire post-mortem (Morzel et Laville, 2006). L'approche protéomique permet l'évaluation globale des protéines sarcoplasmiques présentes au moment de l'abattage et de les relier à des réactions biochimiques ou à des indicateurs des qualités des viandes. Dans beaucoup de pays européens, les porcs charcutiers sont des mâles castrés et des femelles. Il est bien connu que les hormones sexuelles, la testostérone et la progestérone, interviennent dans de nombreuses voies métaboliques. Nous présentons ici les résultats d'une comparaison de l'expression des protéines au moment de l'abattage de porcs mâles castrés et des femelles.

Matériels et méthodes:
Douze porcs mâles castrés et 12 femelles, issus d'un croisement de femelles Large White x Landrace avec des pères de pure race Duroc ou Large White, ont été abattus à 150 kg. Cinq minutes après l'abattage, des échantillons de muscle Longissimus lumborum (LL) ont été prélevés afin de déterminer les différents paramètres de qualités de la viande, comme le pH ultime (pHu) ou la couleur (L*, a*, b*). Des échantillons ont également été prélevés 5 min après l'abattage pour l'analyse des protéines solubilisées dans le sarcoplasme en utilisant un tampon à faible force ionique. Des cartes protéomiques du LL ont été réalisées par électrophorèse bidimensionnelle (gradient de pH 5-8, SDS-page 11%) afin d'étudier les différences d'expression des protéines sarcoplasmiques en fonction des différents facteurs. Après coloration et numérisation des gels, l'intensité des spots présents a été évaluée grâce au logiciel PDQuest. Les protéines différentiellement exprimées ont été identifiées en utilisant la méthode par spectrométrie de masse MALDI-ToF.

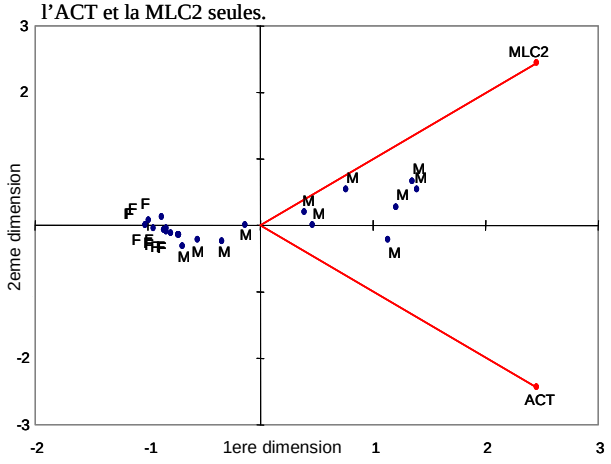
Résultats et discussion :
Une analyse de variance a déterminé que l'expression de 90 protéines était influencée par le sexe, bien plus que les 18 et 10 protéines influencées par le mode d'élevage et l'origine génétique respectivement, de ces mêmes porcs (Kwasiborski et al, 2006). L'utilisation de ces 90 protéines dans une analyse en composantes principales (ACP) a permis de classer correctement les 24 porcs en fonction de leur sexe (fig.1). En retirant progressivement les protéines contribuant le moins à la classification des animaux par ACP, il s'est avéré que la seule utilisation de l'actine (ACT) et la chaîne légère de myosine (MLC de type 2) permettent la classification correcte des 24 animaux selon leur sexe (fig.2).

Figure 1: Plot des 2 premières dimensions, obtenu par PCA sur toutes les protéines influencées par le sexe



La différence entre sexes est très probablement liée à une différence de solubilité de ces protéines. L'ACT est un constituant des filaments fins des myofibrilles, avec la troponine et la tropomyosine. La myosine constitue les filaments épais des myofibrilles, elle est composée de 2 chaînes lourdes (MHC) et de deux paires de MLC (MLC1 et MLC2) situées au niveau des têtes de myosine. La MLC2, dite régulatrice, assure la régulation de l'interaction actine-myosine pendant la contraction musculaire, grâce à l'apport d'ATP en présence de Ca^{2+}. Après la mort de l'animal, des réactions biochimiques, continuent pendant quelque temps. Le Ca^{2+}, présent dans le cytoplasme se fixe à la troponine qui change de conformation révélant le site de fixation des têtes de myosine à l'ACT, donnant lieu à la formation de ponts entre l'ACT et la myosine. Ce processus permet le glissement de filaments d'ACT le long des filaments de myosine, raccourcissant ainsi les myofibrilles. La relaxation a lieu grâce à la recapture du Ca^{2+} dans le réticulum sarcoplasmique (RS) par les ATPase pompes à Ca^{2+}. Une molécule d'ATP est également nécessaire pour rompre le lien actine-myosine. Le protocole utilisé permet l'extraction de l'actine non polymérisée et les chaînes légères de la myosine. Le complexe acto-myosine est très peu soluble et donc pas extrait par notre méthode. Nos résultats indiquent que chez les mâles castrés, les niveaux d'expression des 2 protéines, ACT et

Figure 2: Bi-plot des 2 premières dimensions, obtenu grâce à l'ACT et la MLC2 seules.



MLC2 sont positivement corrélés (r= 0,92, p<0,0001) et plus élevés. Ces niveaux plus élevés chez les mâles castrés peuvent s'expliquer soit par une formation des ponts actine myosine moins fréquente, due à un taux de Ca^{2+} faible par exemple, soit à une rupture des ponts plus fréquente, due à un taux d'ATP plus élevé par exemple. Un rôle du Ca^{2+} dans la différence entre les sexes est soutenu par l'étude d'Estrada et al. (2006) qui montre, dans le muscle squelettique, que la testostérone augmente la quantité de Ca^{2+} intracellulaire à partir du RS. Par contre, aucun article à notre connaissance n'aborde l'effet de la progestérone sur la quantité de Ca^{2+} dans les muscles squelettiques. Il est possible que l'action de la progestérone sur les flux calciques soit similaire à celle de la testostérone, comme c'est le cas pour le muscle lisse. Dans ce tissu la testostérone et la progestérone ont le même effet inhibiteur sur les canaux calciques de type L (Morishita et al, 2000 ; Hall et al, 2006). Ce type de canal permet la transmission du potentiel d'action de la membrane cytoplasmique au RS (Strube et al, 2000). La différence d'intensité des spots d'ACT et de MLC2 entre mâles castrés et femelles s'expliquerait donc par des taux de Ca^{2+} plus bas chez les mâles castrés, due à l'absence d'hormones sexuelles.

Le possible effet du Ca^{2+} sur la différence entre les 2 sexes, nous a incité à étudier les variations des protéines impliquées dans la régulation du taux de Ca^{2+} sarcoplasmique. Les Ca^{2+} binding protéines (CBP) sont localisées, entre autres, dans le cytoplasme et ont un rôle important dans la régulation des taux calciques intracellulaires. Deux protéines, identifiées comme des CBP-like protéines et une autre CBP, la parvalbumine avaient des intensités d'expression 2,5 et 2 fois supérieure chez les mâles castrés (CBP : 20800 ± 4900 p<0,001, Parvalbumine : 5000 ± 1900 p<0,01) que chez les femelles (CBP : 8400 ± 2700 p<0,001, Parvalbumine : 2500 ± 1000 p<0,01). La parvalbumine est une CBP fortement exprimée dans les fibres IIB (Berchtold et al, 2000). Néanmoins, les mâles castrés montrent des intensités de cytochrome Bc1 (un constituant de la chaîne respiratoire des mitochondries) plus élevées, suggérant un métabolisme plus oxydatif. Toutefois, la parvalbumine peut être présente dans des fibres IIA (Berchtold et al, 2000), qui pourraient donc être plus présentes chez les mâles castrés. Chez les femelles, le pH du muscle 45 min post-mortem était négativement corrélé avec les taux de CBP (r= -0,70, p= 0,01) et de parvalbumine (r= -0,73, p= 0,01). Ces corrélations indiquent chez les femelles, une chute plus rapide du pH, donc des activités métaboliques musculaires, et probablement contractiles, post-mortem plus élevées, quand elles ont des taux de CBP plus élevés. Pour les deux sexes, il n'y avait pas de corrélations (p>0,24) entre les taux d'ACT ou de MLC2 et les CBP ou pH à 45 min. Chez les mâles castrés, le pH du muscle 45 min post-mortem était positivement corrélé avec la parvalbumine (r=0,64 ; p<0,05). Ces différences entre les corrélations observées chez les mâles castrés et femelles pourrait suggérer que l'absence d'hormones sexuelles perturbe ou change le fonctionnement de certaines protéines régulatrices du métabolisme musculaire post-mortem. Toutefois, ces différences n'ont pas induit de différence pour le pH à 45 min entre mâles castrés (6,55 ± 0,12) et femelles (6,53 ± 0,15).

Conclusion :

Cette étude a mis en évidence une différence d'intensité des spots d'ACT et de MLC2 entre mâles castrés et femelles. Les 24 porcs de l'étude ont pu être classés correctement en fonction de leur sexe en utilisant ces 2 protéines. Cette différence traduit probablement une différence de solubilité, liée à la présence plus élevée du complexe acto-myosine. Nos résultats laissent supposer un rôle du Ca^{2+} intracellulaire probablement liée à l'absence de l'hormone mâle chez les animaux castrés. Les différentes CBP présentes dans le cytoplasme pourraient jouer un rôle dans les différences observées entre mâles castrés et femelles, en influant sur le niveau de Ca^{2+}.

Afin de compléter cette étude, il serait intéressant d'étudier les différences existantes entre les femelles, les mâles castrés mais également les mâles entiers. Ainsi l'effet de la testostérone pourra être observé.

Références bibliographiques :

- Estrada M., Liberona J.L., Miranda M. et Jaimovich E., American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism, 2000; 279: 132-139.
- Berchtold W., Brinkmeier H. et Muntener M., Physiological reviews. 2000, 80: 3.
- Hall J., Jones R.D., Jones T.H., Channer K.S. et Peers C., Endocrinology, 2006. 147: 2675-2680.
- Morishita S., Japenese Journal of Pharmacology. 1986; 42: 189-196.
- Morzel M. et Laville E., JSMTV 2006, Clermont-ferrand, France.
- Kwasiborski A., Sayd T., Chambon C., Santé-Lhoutellier V., Rocha D. et Terlouw C., IUFOST 2006, Nantes, France.
- Strube J., Tourneur Y. et Ojeda C., Biophysical Journal 2000. 78 : 282-1292.

ETUDE DES TRANSPORTEURS D'ACIDES GRAS DANS LES ADIPOCYTES ISOLES DE MUSCLE ET DE TISSU ADIPEUX SOUS-CUTANE CHEZ LE PORC

GARDAN D., LOUVEAU I., GONDRET F.
INRA, UMR Systèmes d'Elevage et Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint-Gilles.

Introduction

La teneur en lipides intramusculaires est un facteur important pour la qualité organoleptique des produits carnés. La variabilité de cette teneur résulte principalement d'une variation de la quantité de triglycérides (TG) stockés au sein d'adipocytes groupés entre les faisceaux de fibres musculaires. La quantité de TG cellulaires est le résultat d'un bilan entre le prélèvement d'acides gras circulants, la synthèse endogène d'acides gras à partir du glucose, l'estérification des acides gras, et l'hydrolyse des TG (lipolyse) suivie de l'oxydation, la ré-estérification ou l'exportation des acides gras ainsi produits. Les acides gras à chaîne longue ne peuvent pas traverser seuls la membrane plasmique et ils ne sont pas solubles en milieu aqueux. Ils doivent donc être pris en charge par des transporteurs trans-membranaires (FAT, FATP) puis par des transporteurs cytosoliques (FABPs, pour Fatty Acid Binding Proteins) chargés de les diriger vers les sites de stockage ou d'oxydation. A ce jour, neuf FABPs ayant une distribution tissu-spécifique ont été identifiées (Chmurzynska, 2006). Parmi ces FABPs, on trouve notamment la FABP-A détectée dans le tissu adipeux, et la FABP-H détectée dans le muscle squelettique et dans le muscle cardiaque. Des polymorphismes des gènes FABP-A et FABP-H ont été reliés à des variations de teneur en lipides intramusculaires chez le porc (Gerbens et al., 2000). En outre, en comparant des porcs présentant des teneurs hautes ou basses en lipides intramusculaires, nous avons mis en évidence une corrélation positive entre la quantité de FABP-A dans le muscle et la teneur en lipides intramusculaires (Damon et al., 2006). Cependant, les modalités du transport des acides gras dans les adipocytes intramusculaires (IM) restent à caractériser. Le voisinage des fibres musculaires utilisatrices d'acides gras pour la couverture énergétique de la contraction musculaire, pourrait être à l'origine de particularités fonctionnelles des adipocytes IM. C'est pourquoi, l'objectif de ce travail est d'étudier l'expression de quelques transporteurs d'acides gras dans les adipocytes IM en comparaison aux adipocytes du tissu adipeux sous-cutané (SC) chez le porc en croissance.

Matériel et Méthodes

Des porcs femelles de race (Large White x Landrace) x Piétrain, élevés en conditions standards, ont été abattus à 80 jours d'âge (31,2 kg ± 1,4 kg de poids vif, n = 9) ou 210 jours d'âge (151 kg ± 2 kg de poids vif, n = 12). Des échantillons de muscle squelettique (trapèze) et de tissu adipeux SC dorsal ont été prélevés immédiatement après l'abattage. Un échantillon de chaque tissu (environ 5 g) a été prélevé et la teneur en lipides a été déterminée. Le reste du tissu (60 g de muscle et 15 g de SC) a été maintenu à 37°C et, digéré en présence de collagénase, pour obtenir après filtration les adipocytes isolés. Le diamètre adipocytaire a été évalué par analyse d'image. L'expression des transporteurs transmembranaires (FAT/CD36, FATP4) et cytoplasmiques (FABP-A et FABP-H) d'acides gras sur adipocytes a été mesurée par RT-PCR en temps réel et/ou par Western-Blot à l'aide d'anticorps spécifiques.

Résultats et discussion

Entre 80 et 210 jours d'âge, nous montrons une augmentation de la teneur en lipides dans le muscle (2,6 vs. 4,6 g pour 100 g) et dans le tissu adipeux SC (53,1 vs. 77,3 g pour 100 g). Pour tous les transporteurs étudiés, les niveaux d'ARNm sont plus faibles ($P < 0,001$) dans les adipocytes IM que dans les adipocytes SC prélevés chez des porcs de même âge (Tableau 1). En outre, les niveaux d'ARNm de ces transporteurs sont également plus faibles dans les adipocytes IM comparés à taille cellulaire équivalente à celle des adipocytes SC (les adipocytes IM à 210 jours présentant un diamètre équivalent à celui des adipocytes SC à 80 jours; Gardan et al., 2006). Les protéines FABP-A et FABP-H sont bien identifiées dans les adipocytes SC (Figures 1 et 2), alors que leurs niveaux d'expression sont à la limite de la détection dans les adipocytes IM. Ces résultats vont dans le sens d'un métabolisme lipidique général plus faible dans les adipocytes IM comme cela a été rapporté dans une précédente étude (Gardan et al., 2006). Par ailleurs, nous montrons clairement l'expression du transporteur FABP-H dans les adipocyte SC et, à un moindre degré, dans les adipocytes IM. Ce résultat est inattendu dans la mesure où ce transporteur, décrit à l'origine dans le muscle, est généralement associé à une orientation des acides gras vers les sites d'oxydation mitochondriale (Glatz et al., 2003), voie métabolique sans doute peu active dans les adipocytes SC.
Entre 80 et 210 jours d'âge, les niveaux d'ARNm des quatre transporteurs étudiés ne varient pas dans les adipocytes IM. Ainsi, l'augmentation de la teneur en lipides du muscle au cours de la croissance ne semble pas liée à une augmentation de la capacité adipocytaire à transporter les acides gras. Dans les adipocytes SC, le niveau d'ARNm du transporteur membranaire FAT/CD36 augmente alors que celui du FATP4 diminue. Dans ces mêmes adipocytes, le niveau d'ARNm du transporteur cytosolique FABP-A augmente au cours de la croissance alors que celui de la FABP-H ne varie pas. Au niveau protéique, les quantités de FABP-A et FABP-H diminuent ($P<0.05$) au cours de la croissance dans l'adipocyte SC (Figures 1 et 2). L'absence de parallélisme entre les variations des niveaux d'ARNm et des

quantités de protéines FABP-A ou FABP-H dans l'adipocyte SC suggère l'existence d'une régulation post-transcriptionnelle de ces transporteurs, comme rapporté précédemment par Zimmerman et Veerkamp (1998).

Conclusions

Dans cette étude, nous montrons que les adipocytes IM présentent des capacités de captation d'acides gras à priori plus faibles que celles des adipocytes SC. Cependant, la mesure du captage des acides gras *in vitro* et de leur estérification dans l'adipocyte IM vs. SC pourrait être intéressante pour confirmer ces résultats. Enfin, à notre connaissance, cette étude est la première à rapporter une expression du transporteur FABP-H dans l'adipocyte. Cependant, l'absence ou la diminution respectivement des niveaux d'ARNm et de la quantité de protéine FABP-H dans l'adipocyte SC au cours de la croissance suggère un rôle mineur de ce transporteur par rapport à la FABP-A.

Tableau 1. Expression des gènes codant pour différents transporteurs d'acides gras dans les adipocytes isolés à 80 et 210 jours d'âge.

	Adipocytes IM		**Adipocytes SC**			Signification statistique		
	80	**210**	**80**	**210**	ETM	Site	Age	Site*Age
FAT/CD36	0,14 [a] *± 0,05*	0,08 [a] *± 0,02*	1,25 [b] *± 0,15*	1,63 [c] *± 0,12*	0,23	< 0,001	0,2	0,08
FATP4	0,25 [a] *± 0,06*	0,16 [a] *± 0,03*	1,54 [c] *± 0,21*	1,16 [b] *± 0,09*	0,29	< 0,001	0,06	0,22
FABP-A	0,08 [a] *± 0,03*	0,05 [a] *± 0,02*	0,82 [b] *± 0,08*	1,37 [c] *± 0,04*	0,12	< 0,001	< 0,001	< 0,001
FABP-H	0,18 [a] *± 0,05*	0,10 [a] *± 0,03*	0,86 [b] *± 0,23*	0,72 [b] *± 0,07*	0,27	< 0,001	0,35	0,78

Les valeurs sont les moyennes, ± l'écart-type à la moyenne (n = 5).
[abc] Dans une même ligne, les valeurs affectées d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5%.

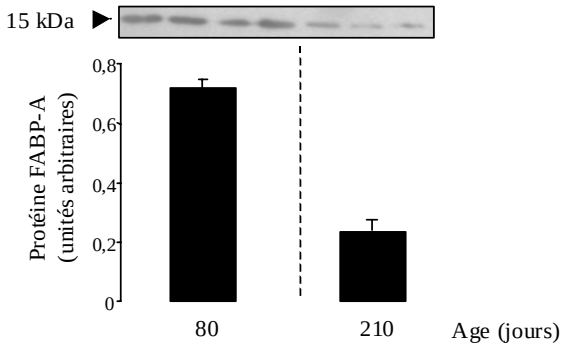


Fig. 1. Quantité de protéines FABP-A dans l'adipocyte SC à 80 et 210 jours d'âge

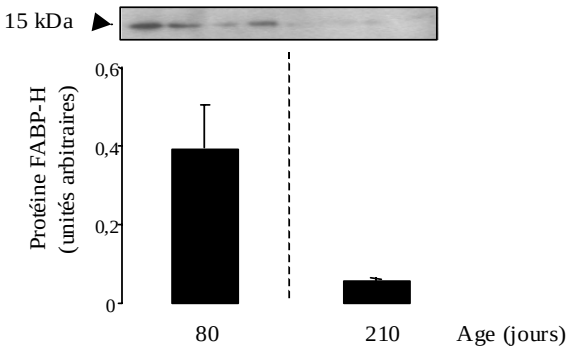


Fig. 2. Quantité de protéines FABP-H dans l'adipocyte SC à 80 et 210 jours d'âge

Références bibliographiques

Chmurzynska A., 2006. J. Appl. Genet., 47(1), 39-48.
Damon M., Louveau I., Lefaucheur L., Lebret B., Vincent A., Leroy P., Sanchez M.P., Herpin P., Gondret F., 2006. J. Anim. Sci., 84, 1083-1092.
Gardan D., Gondret F., Louveau I., 2006. Am. J. Physiol. Endocrinol. and Metab., 291, sous presse.
Gerbens F., de Koning D.J., Harders F.L., Meuwissen T.H.E., Janss L.L.G., Groenen M.A.M., Veerkamp J.H., Van Glatz J.F.C., Schaap F.G., Binas B., Bonen A., van der Vusse G.J., Luiken J.J.F.P., 2003. Acta Physiol. Scand., 178, 367-371.
Arendonk J.A.M., te Pas M.F.W., 2000. J. Anim. Sci., 78, 552-559.
Zimmerman A.W., Veerkamp J.H., 1998. FEBS Letters, 437, 183-186.

Remerciements

Les auteurs remercient C. Tréfeu et F. Pontrucher pour leur contribution technique lors de l'isolement des adipocytes et A. Vincent pour la mise au point de l'analyse des FABPs par Western blot et par RT-PCR.

SESSION 6

Procédés

Animateurs : Alain Peyron (Adiv Association)
et Philippe Bernard (Adiv Marketing)

Posters

COMMENT MODELISER LA CUISSON DE LA VIANDE
- PRESENTATION DES ETUDES PRELIMINAIRES SUR LES TRANSFERTS CHALEUR-MATIERE

[1]KONDJOYAN A., [2] PEYRON, A.

[1]INRA Clermont-Fd/Theix – Qualité des Produits Animaux – Equipe Couplage Transferts-Transformations – 63122 Saint-Genes-Champanelle – Tél. : 04 73 62 44 92 – Fax. : 04 73 62 40 89 –
[2] ADIV Association - 2 rue chappe - 63039 Clermont-Ferrand cedex 2 – Tél. : 04 73 98 53 80

Objectif

Dans nos sociétés, les viandes sont, dans la très grande majorité des cas, consommées cuites. L'étape de cuisson, outre son rôle dans la destruction des micro-organismes, est capitale quant à l'élaboration des qualités sensorielles et nutritionnelles des aliments. Maîtriser la cuisson des viandes suppose d'être capable d'obtenir un produit cuit de qualités sensorielles et nutritionnelles désirées en fonction du consommateur ciblé et des caractéristiques de la matière première qui sont très variables. Dans une situation aussi complexe, une démarche empirique ne peut aboutir qu'à une maîtrise partielle du procédé. Une démarche de modélisation : des transferts chaleur-matière, des contraintes mécaniques en fonction de la température, et de l'évolution des caractéristiques sensorielles et nutritionnelles est donc indispensable. Dès qu'ils seront validés, ces nouveaux modèles pourront être exploités pour développer de nouveaux produits et des appareils de cuisson plus performants et mieux contrôlés. Ces objectifs sont au cœur d'un projet du pôle de compétitivité viande Auvergne sur la cuisson des viandes dont certains aspects seront repris dans le cadre du contrat européen « Prosafe beef ». D'autres projets intéressant aussi la viande de porc ont été déposés auprès de l'ANR.
Dans le cadre de « Prosafe beef », les travaux seront focalisés sur l'optimisation du grillage et du rôtissage de la viande de boeuf en vue d'obtenir une viande cuite, tendre, de couleur attirante, et saine du fait de la faible quantité d'amines hétérocycliques produite en cours de cuisson. Des modèles de transferts chaleur-matière seront développés pour prédire l'évolution de la température et de la concentration en eau en tous points du produit. Les résultats de la littérature seront complétés pour pouvoir modéliser correctement l'effet de la température, de la concentration en eau et du pH sur l'évolution : des propriétés mécaniques de la viande de bœuf, de sa couleur et de la génération potentielle d'amines hétérocycliques. Un des objectifs majeur du projet est d'améliorer la qualité des bas morceaux en optimisant leur cuisson et en combinant cuisson et marinades. Ce travail sur la cuisson engage l'INRA (QuaPA et Xénobiotique de Toulouse), l'ADIV et trois autres partenaires européens.

Etudes préliminaires sur les transferts

Au cours de la cuisson, l'aliment est le siège de transferts couplés de chaleur et d'eau et subit des déformations thermomécaniques. Celles-ci deviennent particulièrement intenses lorsque la température du produit est comprise entre 55°C et 65°C du fait de la dénaturation/contraction du collagène et de celle des protéines myofibrillaires. Ces phénomènes thermomécaniques génèrent une pression qui fait migrer le jus du centre du produit vers sa surface (1). Dès que les températures sont supérieures à 100°C, une croûte peut se former, qui freine la migration de l'eau et modifie profondément l'évolution de la température de surface. Ces phénomènes couplés et complexes, qui déterminent la qualité finale du produit, ne peuvent être décrits que par des modèles numériques mettant en jeu plusieurs paramètres. Idéalement, les transferts devraient être modélisés en considérant les trois phases liquides, vapeur et solide et en tenant compte des mouvements liés au gonflement et à la rétraction du produit. De tels modèles ont été développés dans le cas du séchage du bois en considérant le produit biologique comme un milieu poreux (2). Mais le cas de la cuisson de la viande est plus difficile, et le fait d'arriver à ce niveau de complexité dans les modèles conduit à introduire un grand nombre de paramètres totalement inconnus dans le cas de la viande. Dans un premier temps, il a donc été décidé de simplifier les phénomènes et de se ramener à une modélisation diffusive des transferts de chaleur et d'eau dans le produit. Un tel modèle a déjà été développé par l'INRA et validé dans le cadre de la décontamination de la surface des viandes par l'air chaud (3). Bien que simplificateur, ce modèle est déjà beaucoup plus complexe que ceux utilisés dans la littérature pour modéliser la cuisson. Le modèle développé par l'INRA a été modifié pour pouvoir effectuer des simulations avec l'environnement aux éléments finis de Comsol 3.2 sous Matlab. Les paramètres du modèle ont été adaptés pour décrire les phénomènes qui se produisent au cours de la cuisson des viandes. Ce modèle a été utilisé pour décrire deux technologies de cuisson différentes : la cuisson par contact (plaque de grill, poêle) et la cuisson par convection-rayonnement dans un four. L'étude de sensibilité montre que la température de surface et le gradient de température dépendent fortement de l'épaisseur de la croûte et de la conductivité thermique choisies. Dans le cas du four, les valeurs du coefficient de transfert convectif et du facteur de vue du rayonnement infrarouge ont un effet déterminant sur la température prédite en surface du rôti. Dans le cas de la cuisson sur plaque ou grill, c'est évidement la résistance thermique de contact qui est prépondérante au niveau des conditions aux limites. La figure 1 permet de comparer les températures prédites par le modèle à des valeurs expérimentales de la littérature dans le cas d'un rôti de boeuf cuit au four. Le four est un four statique (convection libre) de dimension 410x350x320 mm, où la température de

boeuf cuit au four. Le four est un four statique (convection libre) de dimension 410x350x320 mm, où la température de l'air est de 225°C. La surface du rôti est soumise à une plaque rayonnante de température 500°C. La durée de l'expérience est de l'ordre d'une heure. La simulation est effectuée en 3D sur un rôti de dimension 150x80x50mm en considérant que la croûte, dont la conductivité est de 0.1 $W.m^{-1}.K^{-1}$, a une épaisseur de 4 mm. Les valeurs expérimentales et simulées sont en bon accord montrant les potentialités du modèle quant à la prédiction des températures. Mais l'épaisseur de la croûte a été fixée dès le départ et ajustée au mieux pour rendre cohérents modèle et expérience. La figure 2 présente l'évolution simulée de la température en surface d'une viande de 4 cm d'épaisseur placée sur une plaque chauffante portée à 180°C. Une épaisseur de 1 mm de croûte se forme au cours du temps dont la conductivité thermique est en fin de cuisson de 0.1 $W.m^{-1}.K^{-1}$. La résistance thermique de contact RTC, entrée dans le modèle prend successivement les valeurs suivantes : 0, 0,001, 0,01, 0,03. La valeur 0 correspond à un contact parfait, 0,001 à une épaisseur de 1 mm de jus et 0,01 et 0,03 à, respectivement, 0,3 et 1,0 mm d'air entre la plaque et la viande. Le contact parfait est un cas extrême où la température de surface atteint quasiment instantanément celle de la plaque tandis que la présence d'un millimètre d'air correspond à une zone de non-contact liée à une déformation notoire de la viande. Mais même en éliminant ces cas extrêmes, l'incertitude sur la valeur de la RTC conduit à des écarts de température de surface simulée de l'ordre de 30°C. Il est donc indispensable pour les deux configurations étudiées de développer des modèles et des méthodes expérimentales pour rendre compte de la formation de la croûte et pour décrire au mieux les conditions aux limites. Un travail basé sur les techniques numériques inverses est en cours au laboratoire pour mieux répondre à ces problèmes.

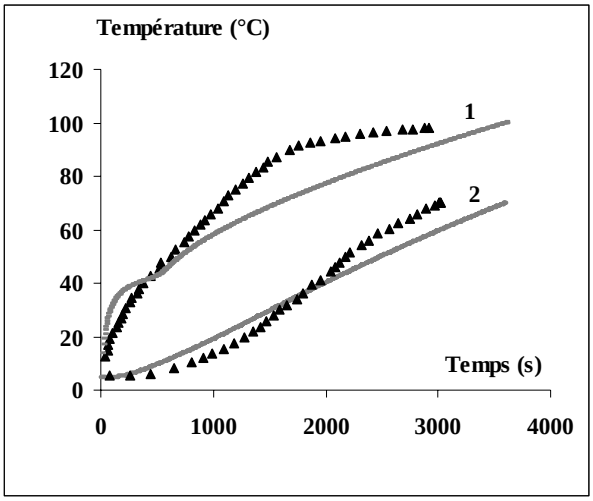


Figure 1 : Comparaison entre les températures simulées par le modèle (traits gris) et les températures expérimentales (triangles noirs), pour un rôti placé dans un four statique fonctionnant à 225°C, (1) surface du rôti, (2) cœur.

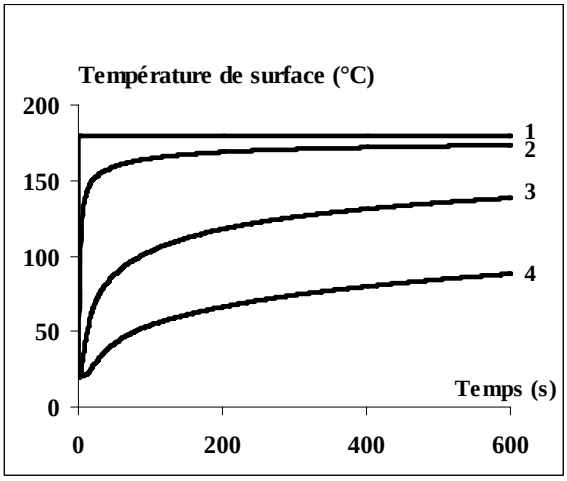


Figure 2 : Température de surface simulée lors de la cuisson par contact d'un échantillon de viande de boeuf de 4 cm d'épaisseur sur une plaque portée à 180°C. La résistance de contact RTC, est respectivement de : (1) 0, (2) 0,001, (3) 0,01, (4) 0,03 W^{-1} m^2 K.

Conclusion et perspective

L'étude de sensibilité sur le modèle simplifié de transferts de chaleur-matière va permettre d'analyser plus finement les phénomènes qui sont prépondérants au cours de la cuisson des viandes. Cette étude préliminaire va aussi permettre de mieux concevoir et dimensionner les montages expérimentaux prévus pour analyser la déliaison et la migration de l'eau en cours de chauffage ou de cuisson. Il est également prévu de : (1) complexifier le modèle de transfert pour prendre en compte la déformation du produit et le couplage entre phénomènes de transport et phénomènes mécaniques ; (2) tester de nouveaux modèles de transferts pour décrire la formation de la croûte.

Références bibliographiques

1. Larroche, M., 1988. in Girard, J. P. p 33-82, APRIA, INRA, Tec&Doc-Lavoisier, Paris.
2. Whitaker, S., 1998. Adv. Heat Transfer, 31, 1-104
3. Kondjoyan, A., 2006. J. Food Engng., 76, 53-62.

ETUDE D'UN PROCEDE D'EXTRACTION ET DE FRACTIONNEMENT DE PROTEINES ISSUES DE CO-PRODUITS ANIMAUX POUR UNE UTILISATION EN TANT QU'INGREDIENTS FONCTIONNELS

LEMOINE E.[1], SELMANE D.[2],VIAL C.[2], SANTE-LHOUTELLIER V.[3], DJELVEH G.[2], PEYRON A.[1],
[1]ADIV, 63039, Clermont-Ferrand, [2]LGCB, Université Blaise Pascal, 63174 Aubière Cedex [3]Unité QuaPA, Centre de Clermont-Ferrand-Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle ;

Introduction

Depuis l'interdiction de l'utilisation des farines et graisses animales dans les aliments pour animaux de rente, des quantités considérables de co-produits animaux sont venues grossir le stock de déchets à éliminer de la filière viande. De plus, la baisse constante de la consommation des abats entraîne un déclassement de ces abats non-valorisés en alimentation humaine vers le stock de co-produits à éliminer. Il existe aujourd'hui donc une grande quantité de co-produits animaux de qualité alimentaire qui sont mal valorisés ou détruits faute de débouchés. Il y a donc un intérêt majeur, pour la filière viande, à développer des solutions alternatives permettant la valorisation de ces co-produits.
Ces co-produits étant riches en protéines, l'ADIV, le Laboratoire de Génie Chimique et Biochimique de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand et l'INRA de Theix, ont mené une étude financée par l'Office de l'Elevage sur la mise au point d'un procédé d'extraction et de concentration des protéines issues de co-produits pour une utilisation en tant d'ingrédients fonctionnels. L'objectif de cette étude était de démontrer que les protéines des co-produits d'abattage obtenues par des procédés d'extraction en solution aqueuse couplés à des procédés de filtration membranaire possèdent des propriétés fonctionnelles (gélifiants, émulsifiantes, moussantes) comparables aux protéines de référence (plasma de porc, blanc d'œuf, caséinates,…). Cette étude a été menée sur 2 co-produits modèles : le poumon de porc et le cœur de poulet.

Matériel et méthodes

Les protéines du poumon de porc (81% de la matière sèche) et du cœur de poulet (49% de la matière sèche) ont été analysées par électrophorèse bidimentionnelle (1ère dimension : électrofocalisation, 2ème dimension : séparation selon le poids moléculaire) pour déterminer le poids moléculaire (Mw) et le point isoélectrique (pHi)des différentes fractions protéiques contenues dans chaque co-produit. Les principales principales protéines ont été également identifiées par spectrométrie de masse. Ces cartes protéiques ont permis d'optimiser certains paramètres des procédés comme le pH de solubilisation ou le diamètre des membranes pour le fractionnement des protéines.
L'extraction des protéines a été réalisée en solution aqueuse à partir de co-produits préalablement broyés et affinés. Le pH et la force ionique de la solution d'extraction, la température, le temps et les conditions d'extraction ainsi que le ratio masse de co-produit/volume de solution d'extraction ont été testés et optimisés par rapport au rendement d'extraction en protéines.
Le fractionnement et la concentration des protéines ont été réalisés par micro (MF) et ultrafiltration (UF) tangentielle grâce à une unité de filtration pilote XLAB 3 (Pall-Exekia, France) équipée de membranes de filtration céramiques dont le diamètre des pores varient de 20 nm à 1,4 µm. Différents itinéraires de filtration ont été testés en utilisant l'ultrafiltration seule ou combinaison avec une étape de micro-filtration afin d'obtenir différentes fractions protéiques variables selon leur masse moléculaire. La faisabilité technologique de ces opérations est définie par rapport aux débits de perméation observé ainsi que par rapport aux rendements matières et à la répartition des protéines dans les différentes fractions (rétentats et perméats).
Les différents concentrats protéiques ont été analysés pour déterminer leurs propriétés émulsifiantes, gélifiantes et moussantes et comparées aux ingrédients commerciaux de référence comme le plasma de porc, les protéines laitières (caséinates, protéines sériques), les protéines de blanc d'œuf.

Résultats - Discussion

Dans les conditions optimisées d'extraction, les rendements protéiques d'extraction sont compris entre 70% et 75 % pour les deux co-produits étudiés : le poumon de proc et le cœur de poulet. Ce rendement d'extraction est acceptable dans une optique industrielle ce qui permet de conclure à la faisabilité technologique de l'extraction en solution aqueuse des protéines à partir des co-produits d'abattage.
Pour le fractionnement et la concentration des protéines de poumon de porc, les débits de perméation observés pour la micro-filtration à 1,4 µm de diamètre de pores et pour l'ultrafiltration à 100 nm sont élevés et supérieurs aux valeurs de référence (> 50L/h/m²) habituellement observés notamment dans les procédés laitiers. Les deux itinéraires technologiques (ultrafiltration seule ou micro-filtration + ultrafiltration) permettent d'obtenir respectivement soit une fraction concentrée en protéines (rétentat de l'UF) soit deux fractions protéiques (rétentat de MF et rétentat de UF) dont les protéines diffèrent par leur poids moléculaire. Dans les deux cas, 75% à 90% des protéines sont présentes dans les

fractions d'intérêt, ce qui est compatible des objectifs industriels. Pour le cœur de poulet, la présence de matières grasses (50% de la matière sèche) provoque, à 20°C, une forte polarisation et un colmatage des membranes de filtration et donc une chute des débits de perméation qui ne permet pas de les utiliser en conditions industrielles. Cependant, la modification de la température (à 40°C) permet de limiter ces phénomènes de polarisation et de colmatage et donc d'obtenir des débits(environ 50L/h/M²) permettant une utilisation industrielle. Ces résultats permettent de conclure à la faisabilité technologique d'utiliser les techniques de filtration membranaire pour fractionner et concentrer les protéines extraites des co-produits d'abattage.

Les protéines extraites, fractionnées et concentrées à partir du poumon de porc montrent d'excellentes propriétés gélifiantes (Fig. 1.a). Les protéines de poumon de porc possèdent une température de gélification identique ou inférieure aux protéines de référence et certaines fractions possèdent des forces de gel supérieures à ces ingrédients commerciaux. Cette propriété gélifiante dépend également du procédé de fractionnement subi. Les fractions possèdant les meilleures propriétés gélifiantes correspondent aux protéines issues du procédé comprenant une micro-filtration suivie d'une ultrafiltration. Ces protéines très gélifiantes sont donc de poids moléculaire intermédiaire puisque les grosses molécules ont été retenues dans le rétentat de micro-filtration et les petites sont présentes dans le le perméat de l'ultrafiltration.
Les protéines de cœur de poulet, quant à elles, présentent de très bonnes propriétés moussantes, supérieures aux protéines de référence dont le blanc d'œuf (Fig. 1.b.)

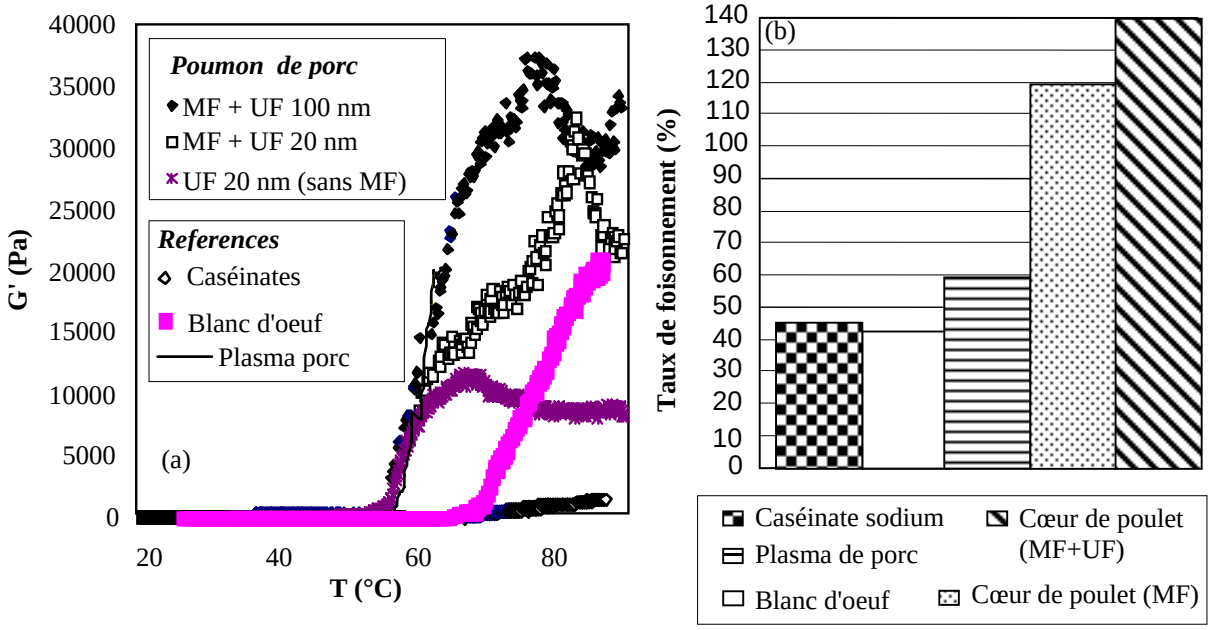


Figure 1. Evolution du module visco-élastique G' en fonction de la température pour des solutions à 2% (+2°C/min) (a); taux de foisonnement de solutions à 2% de protéines (b).

Conclusion

Ces résultats permettent de conclure à la faisabilité technologique des procédés d'extraction, de fractionnement et d'extraction des protéines à partir de co-produits d'abattage puisque les rendements matières et les performances des procédés sont compatibles avec une utilisation industrielle. De plus, les protéines issues de ces procédés montrent des propriétés fonctionnelles remarquables (gélifiantes pour le poumon de porc et moussantes pour le cœur de poulet) équivalentes voire supérieures aux protéines de référence présentes sur le marché. Les protéines peuvent donc potentiellement concurrencer les ingrédients de référence sur le marché des ingrédients fonctionnels principalement pour le marché du petfood mais également dans certaines applications sur le marché des produits carnés. Cette étude peut être considérée comme le point de départ d'un développement industriel dont la phase d'étude de la faisabilité industrielle permettra de valider ces résultats et de définir la rentabilité du procédé.

Remerciements
Les auteurs remercient l'Office de l'Elevage qui a apporté son soutien financier à cette étude.

LE PROCEDE « TENDERCUT » : UN IMPACT NON NEGLIGEABLE SUR LA TENDRETE DE LA VIANDE DE GROS BOVINS

TRIBOT LASPIERE P.
Institut de l'Elevage
Service Qualité des Viandes
Route d'Epinay - 14310 Villers Bocage

Etude réalisée avec le soutien financier d'Interbev et Ofival

Introduction

La tendreté constitue le critère primordial de la qualité de la viande pour toute la filière bovine et notamment les consommateurs. Les opérateurs sont donc amenés à tenter de gérer la tendreté de la viande plutôt que de la subir. Ils disposent pour cela d'éléments codifiés dans plusieurs normes ou cahiers des charges (conditions de pré-abattage, conditions de réfrigération, durée de maturation, affranchi, …). Récemment, des travaux réalisés par l'Institut de l'Elevage sur la suspension pelvienne ont démontré tout l'intérêt de cette pratique qui permet d'augmenter notablement la tendreté de certains muscles du quartier arrière (faux-filet, rumsteck, gîte-noix, tende de tranche). Cela étant, cette pratique peut présenter quelques inconvénients : le risque de chute des carcasses, la place prise par la carcasse, les manipulations supplémentaires … Dans ce contexte, il s'avère intéressant de tester le procédé « Tendercut », une méthode alternative à la suspension pelvienne.
Etudiée et mise au point depuis 1991, par une équipe de chercheurs américains, cette pratique, comme la suspension pelvienne, s'appuie sur le principe de l'étirement des muscles avant l'entrée en *rigor mortis*. Dans le cas présent l'étirement des muscles est obtenu à la suite de 3 coups de scie donnés, avant le ressuage, sur le quartier arrière : à la jonction de la 12ème et 13ème vertèbre dorsale, à l'ischion et à la jonction de la 4ème et de la 5ème vertèbre sacrée. Selon les sites, ces coupes sont suivies de la section de tissus conjonctifs et de muscles au voisinage des os sciés. D'après la bibliographie les résultats obtenus par le procédé « Tendercut », même s'ils sont parfois contradictoires, seraient comparables à ceux de la suspension pelvienne.
L'objectif de l'étude est de confirmer ou d'infirmer l'effet du procédé « Tendercut » sur la tendreté, et de mettre en comparaison ce procédé d'amélioration de la tendreté avec celui bien connu de la maturation.

Matériels et méthodes

Pratiquement, l'effet du procédé « Tendercut », appliqué à **15 carcasses** de gros bovins, est apprécié par le traitement différencié des deux demi-carcasses d'un même animal : l'une fait l'objet du traitement « Tendercut » (TC), l'autre ne subit pas le procédé (NTC). Concernant la maturation, deux durées sont mises en comparaison : 2 et 9 jours.
8 muscles ou parties de muscles sont choisis. Il s'agit du long dorsal LD (7ème à la 10ème côte) ; de 2 parties du tende de tranche, côté ischion (TTI) et côté nerveux (TTN) ; de 2 parties du gîte noix, côté ischion (GNI) et côté nerveux (GNN) ; du plat de tranche grasse (PTG) ; du rond de gîte (RG) ; de l'aiguillette baronne (AB).
La tendreté de ces différents muscles est mesurée par analyse sensorielle. Les assiettes contiennent les 4 morceaux du même muscle et du même animal (NTC 2j, NTC 9j, TC 2j et TC 9j).

Résultats et discussions

➔ Des effets positifs du procédé « Tendercut » (cf. figure N°1)
Le LD voit sa tendreté augmenter de façon significative ($p<0.05\%$) par le procédé « Tendercut » comparativement à un traitement classique, quelle que soit la durée de maturation appliquée après le procédé (+12 points à 2 et à 9 jours de maturation). Pour les 2 côtés du tende de tranche (TTI et TTN) l'effet bénéfique du procédé « Tendercut » sur la tendreté de la viande est moindre après 2 jours de maturation (+5 points ; $p = 6\%$ et 9% respectivement) et significatif (mais toujours modeste) après 9 jours (+ 7 points TTI et + 5 points TTN ; $p = 2\%$ et $p = 3\%$ respectivement).
➔Pas d'effet
Quelles que soient les durées de maturation, les muscles AB, GNI, GNN, et RG ne voient pas leur tendreté s'améliorer avec le procédé « Tender cut ». Même constatation pour le muscle PTG mais uniquement après 9 jours de maturation, alors qu'à 2 jours de maturation le procédé dégrade légèrement la tendreté de ce muscle (cf. figure N°1).
➔ Les conséquences de l'étirement
L'effet positif du procédé « Tendercut » sur la tendreté du LD s'explique vraisemblablement par un étirement particulièrement efficace, avant son entrée en *rigor mortis*, grâce au poids du quartier avant.
➔ Un gain de tendreté équivalent à plus de 7 jours de maturation pour le cas du LD
Pour le cas du LD, les dégustateurs ont noté la tendreté de la viande issue d'une demi-carcasse « Tendercut » et maturée 2 jours, supérieure à celle de la viande provenant d'un circuit classique et maturée 9 jours ($p = 2\%$).

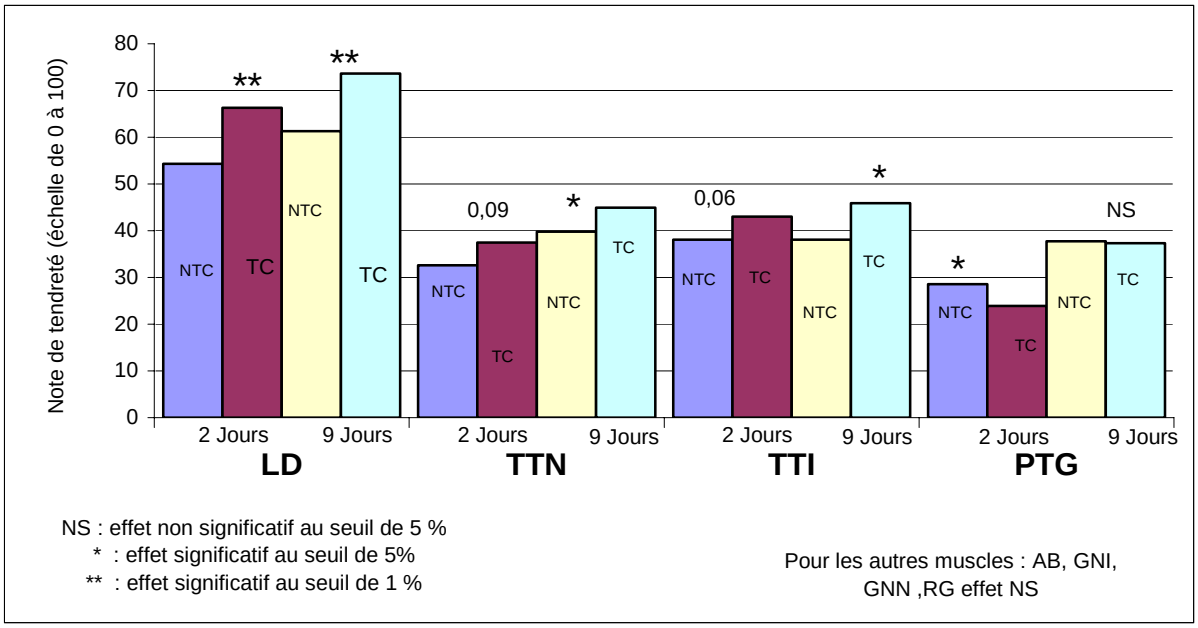
Le procédé « Tendercut » permet à lui seul d'obtenir un gain de tendreté plus important que celui procuré par une semaine de maturation supplémentaire (de NTC 2 à NTC 9). Ce gain est de l'ordre de 1.7 semaine de maturation.

➔ Un effet additif du procédé « Tendercut » et de la maturation

Sur la base de la simple comparaison des moyennes des 4 lots étudiés (NTC 2,TC 2, NTC 9 et TC 9), lorsque le procédé est efficace, ses effets sur l'attendrissage de la viande semblent se cumuler avec ceux de la maturation. Ainsi, la tendreté de la viande du LD, TTN et TTI de carcasses ayant subi le procédé et une maturation de 7 jours supplémentaires, présente toujours la performance de tendreté la plus importante par rapport à celle provenant de carcasses ayant subi l'un ou l'autre des traitements (« Tendercut » ou maturation 9 jours) (cf. figure N°1).

Pour le cas particulièrement marqué du LD, lorsqu'on cumule les 2 effets : « Tendercut » et maturation, on obtient un gain de tendreté 2.7 fois supérieur à celui obtenu sur le même muscle avec une simple maturation de la viande pendant 9 jours (cf. figure N°1).

Figure N°1 : Résultats sur la tendreté moyenne des 8 muscles selon le type de traitement des carcasses et la durée de maturation



➔ Les contraintes et les conséquences du « Tendercut »

Au delà des 3 coups de scie à donner sur la carcasse avant la *rigor mortis* suivis de la coupe des tissus conjonctifs et de certains muscles environnants, (durée de l'opération de 3 à 5 minutes par carcasse) la véritable contrainte pratique du procédé pourrait résider, selon les abattoirs, dans la possibilité d'accéder, après le poste de pesée fiscale, au quartier arrière de la carcasse.

Concernant l'impact du procédé « Tendercut » sur la présentation des muscles, seul le faux-filet présente une légère dégradation (entaille du muscle à la hauteur de la 12/13ème côte, de part et d'autre du LD).

Enfin, indépendamment de l'aspect technique, la mise en oeuvre d'un tel procédé doit tenir compte de la réglementation et de l'arrêté du 26 décembre 2000 relatif à la présentation des carcasses de bovins qui stipule que celle-ci ne doit pas être modifiée pendant un délai de 6 heures après leur pesée.

➔ Un procédé essentiellement exploitable sur le LD

Si ce procédé « Tendercut » tel qu'appliqué dans la présente étude donne des résultats contrastés en terme d'augmentation de la tendreté de la viande et s'il est loin d'être aussi efficace que la suspension pelvienne (moins de muscles améliorés et gain de tendreté moindre), il pourrait tout à fait être utilisé sur le seul Long Dorsal, pour certains marchés. Il permettrait d'attendrir efficacement ce muscle, tout en limitant les durées de maturation.

Bibliographie

BASTIEN. D, 2005. La viande des ruminants : de nouvelles approches pour améliorer et maîtriser la qualité. La suspension pelvienne. VPC, N°24 (2). 51-54.

CLAUS. J R, HENGJIAN WANG, and MARRIOTT. N G, 1997. Prerigor carcass muscle strectching. Effects on tenderness of grain-fed beef under commercial conditions. Journal of Food Science. Vol 62, No 6. 1231-1234.

TRIBOT LASPIERE. P, 2001. Effet de la suspension pelvienne sur la tendreté de la viande bovine. CR Institut de l'Elevage n°2013208.

SHANKS. B. C, WULF. D. M, REUTER. B. J, and MADDOCK. R. J. 2002. Increasing Tenderness of Beef Round and Sirloin Muscles Through Prerigor Skeletal Separations. Journal Animal of Science. 80 : 123-128.

APPLICATION DES HAUTES PRESSIONS POUR LE MAGRET DE CANARD FUME-SECHE

LUCAN A., ZUBER F.
CTCPA
Z.I. Est, 11 rue Marcel LUQUET, 32000 AUCH

Introduction

Les traitements de stabilisation par hautes pressions hydrostatiques apparaissent depuis plusieurs années comme la technologie non thermique de stabilisation des aliments la plus prometteuse. En effet, elle peut être proposée comme une technologie douce permettant de diminuer les températures de traitement, voire de stabiliser à basses températures (Cheftel, 1992), des produits acides ou non acides réputés fragiles thermiquement, sans altérer les caractéristiques organoleptiques du produit.
Le CTCPA a démontré l'intérêt de l'utilisation de cette technologie sur les magrets séchés/fumés, néanmoins une fabrication industrielle nécessite une autorisation administrative et donc la constitution préalable d'un dossier technico-réglementaire. L'objectif de cette étude consiste donc à démontrer l'efficacité du traitement par haute pression et l' « équivalence substantielle » du produit traité, c'est-à-dire à démontrer que le produit ne subit pas de modifications biochimiques majeures lors du traitement, et que sa nature ne le rend pas fondamentalement différent pour le consommateur, d'un produit déjà consommé de façon courante.

Matériels et méthodes

Le procédé de décontamination par Hautes Pressions hydrostatiques a été appliqué au produit classique « magrets de canard, salé, séché et fumé, tranché » sous sa présentation habituelle : conditionné sous vide sous film transparent, disposé sur une cartonnette couleur or. Ce produit est commercialisé réfrigéré entre 0 et 4°C
Le traitement par hautes pressions a été effectué sur une presse hydrostatique spécialement adaptée aux produits alimentaires, dans les locaux de la société NC HYPERBARIC (Espagne) (Figure 1).
Dans le cadre de ce projet, un même traitement a appliqué à l'ensemble des échantillons de magrets salé, séchés-fumés : 6000 bars pendant 5 minutes, à température ambiante (figure 1). Les produits traités sont ensuite conservés à 4°C.
Pour démontrer l'équivalence substantielle des magrets traités par hautes pression, cinq approches distinctes ont été abordées : L'impact quantitatif du traitement Haute Pression sur les germes identifiés par les critères réglementaires, sur les caractéristiques biochimiques et organoleptiques des produits, mais aussi la possibilité d'augmenter la DLC grâce au traitement hautes pressions, et enfin le comportement de l'emballage soumis aux hautes pressions,

Résultats et discussion

Les résultats obtenus (figure 1) montrent sans ambiguïté que le traitement pratiqué a bien un réel effet sur les germes faisant l'objet de critères réglementaires. Par contre, le traitement a un effet limité sur la flore totale et surtout sur la flore lactique qui contribue au maintien d'une qualité sanitaire au cours de la conservation de ce produit en empêchant le développement de flores d'altération ou pathogènes.

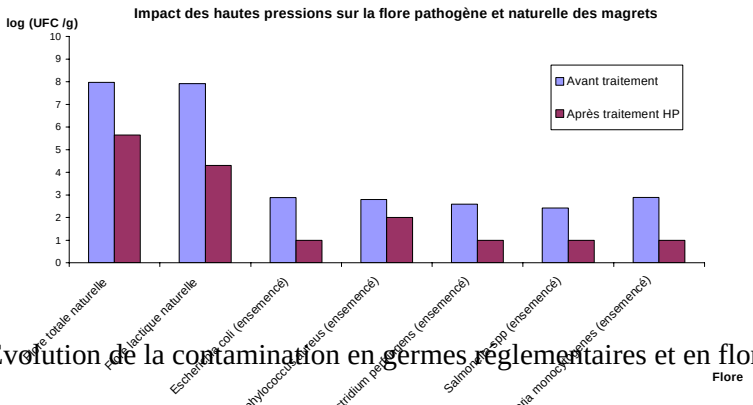


Figure 1 : Evolution de la contamination en germes réglementaires et en flores « naturelles »

Le traitement des magrets séchés - fumés par les hautes pressions n'entraîne pas de modification significative au niveau des composés protéiques sauf une légère modification de l'organisation moléculaire de certaines protéines myofibrillaires (actine et myosine) qui s'apparente à un très léger effet de cuisson thermique.

L'examen approfondi de la fraction lipidique montre, dans la partie « gras » (peau) et dans la partie « viande », ne montre aucune altération hydrolytique. Une très faible augmentation des produits primaires d'oxydation dans la partie « gras » (figure 2) laisse craindre une évolution un peu plus rapide de la qualité de ces lipides et les observations ont laissé entrevoir une baisse du point de fusion des lipides de la partie « GRAS » traité. Bien que l'on ne puisse pas conclure que le traitement soit sans incidence aucune sur les caractéristiques et les qualités des lipides du produit étudié, ces différences étant très faibles et souvent à la limite de la significativité, et elles mériteraient d'être confirmées.
Concernant les autres composés biochimiques (minéraux, vitamines,…), et contaminants et composés néoformés tels que les HAP ou nitrosamines, seule une action du traitement hautes pressions sur les nitrates apparaît probable avec une diminution du taux de nitrates extractibles dans les magrets traités.

	Gras non traité témoin	Gras traité (moyenne de 3 essais)
Indice de Peroxyde de l'extrait lipidique en méq O2/kg (NF T60-220)	5,4 + 2,2	7,8 + 3,1
Indice de Para-anisidine de l'extrait lipidique (NF EN ISO 6885)	5,5	5,2
Temps d'Induction au Test Rancimat de l'extrait lipidique (98°C, 20 L/h, 3 g) (H) (ISO 6886)	4,2 + 1,5	4,3 + 1,5

Figure 2 : Suivi de l'altération oxydative des extraits lipidiques de la partie "Gras" des magrets

Les analyses sensorielles effectuées, elles révèlent une différence significative (à 5%) lorsque les magrets ont été traités avec les hautes pressions. En effet, ce traitement semble modifier quelques caractéristiques visuelles et organoleptiques des magrets.
Les tests effectués sur les emballages traités par hautes pressions ont mis en avant une légère augmentation de la perméance à l'oxygène, une diminution des résistances des scellages longitudinaux et une augmentation des valeurs d'allongement, sans que ces modifications soient suffisamment importantes pour entraîner une modification notable sur le produit ou pour rendre l'emballage inutilisable

Conclusion

Globalement, il apparaît bien que le traitement hautes pressions n'a pas d'incidence significative sur les caractéristiques physico-chimiques des magrets et leurs emballages. La seule modification perceptible concerne quelques caractéristiques sensorielles. Néanmoins, aucune des analyses effectuées ne permet d'affirmer que le traitement hautes pressions a une influence réelle sur la nature des magrets.
Nos analyses permettent ainsi de conclure à l'équivalence substantielle des magrets séchés et fumés, traités par Hautes Pression, avec les produits de référence actuellement commercialisés (magrets séchés et fumés, non traités par hautes pressions).
De plus, les analyses microbiologiques effectuées indiquent que le traitement hautes pressions a bien une réelle efficacité sur les germes réglementaires, et permettent ainsi de valider l'efficacité des hautes pressions en tant que traitement stabilisant d'un point de vue microbiologique, et ainsi de valider la possibilité d'augmenter la DLC de ces produits.

Bibliographie

Cheltel, J.C. & Culioli, J. Effects of high pressure on meat : a review. Meat Science, 1997, 46, 211-236.
Douzal, J.P., Marechal, P.A., Gervais,P. & Coquille, J.C.. Effects of aging upon high pressure stach gels. High pressure Reseach in the Bioscience and Biotechnology, 1997, 187-190.
Heremans, K. From living systems to biomolecules, in C. Balny, R. Hayachi, K. Heremans and P. Masson 'eds.), High pressure and biotechnology, colloque INSERM, John Libbey Eurotext Ltd., 1992, Vol. 224, 37-44.
Tuboly, E., Lebovics, V.K., Graal, O., Meszaros, L., Farkas, J. Microbiological and lipid oxidation studies on mechanically deboned turkey meat treated by high hydrostatic pressure. Journal of food Engineering, 2003, 56 (2/3), 241-244.
Wada, S. Quality and lipid change of sardine meat by high pressure treatment

INFLUENCE DE L'INDICE DE GRAISSE SUR LA QUALITÉ DE QUATRE PRODUITS CARNÉS

R. HADORN[1], P. EBERHARD[1], D. GUGGISBERG[1], P. PICCINALI[1], H. SCHLICHTHERLE-CERNY[1], D. SCHERRER[1], G. BEE[1]

[1]Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, Schwarzenburgstr. 161, 3003 Berne, Suisse

Introduction

A la suite des mesures prises dans l'élevage du porc au cours de ces dernières décennies, on a relevé une plus grande proportion de viande maigre et donc un plus faible pourcentage de graisse dans les carcasses. Parallèlement, il existe un rapport étroit entre la consommation d'acides gras polyinsaturés (PUFA) par le biais de l'alimentation et leur stockage dans la graisse corporelle. Le plus faible accroissement de graisse ainsi que la consommation de PUFA par le biais de l'alimentation ont fréquemment entraîné une concentration plus élevée de PUFA dans la graisse de la carcasse. Ce phénomène peut avoir un effet négatif sur la stabilité à l'oxydation de la graisse (→ rancidité) et sur sa fermeté (→ graisse visqueuse, molle). Ces caractéristiques qualitatives sont d'une grande importance pour la fabrication de produits carnés (Prabucki 1991).
Dans les grands abattoirs de Suisse, la qualité de la graisse est indiquée en fonction du lot par l'indice de graisse (IG) qui, tout comme l'indice d'iode, constitue une mesure du degré d'insaturation de la graisse (Scheeder *et al.* 1999). Le dépassement de la valeur limite de 62 entraîne des baisses de prix conséquentes pour les engraisseurs concernés.
L'essai présenté ici avait pour but de déterminer dans quelle mesure différents indices de graisse influençaient les paramètres qualitatifs de certains produits carnés (salami, lard cru, hamburger de porc, saucisse de Vienne).

Matériel et méthodes

La viande et les tissus adipeux destinés à la fabrication de produits carnés provenaient de 47 porcs à l'engrais femelles de la race Grand Porc Blanc (4 variantes d'alimentation × 12 groupes de collatéraux, 1 animal éliminé), qui dans le cadre de l'essai de Bee (2005) ont été abattus en deux séries à l'abattoir d'ALP à CH-Posieux. Pour cela, on s'est basé sur la variation prévue dans les variantes alimentaires choisies qui laissaient escompter une large répartition de l'IG.
Un échantillon a été prélevé le jour de l'abattage dans la graisse sous-cutanée du muscle de la hanche (Proviande 2003) et l'IG a été déterminé le jour même pour chaque animal de l'essai au moyen d'un appareil de mesure de l'IG (Scheeder *et al.* 1999) dans les laboratoires UFAG SA (Sursee, CH). La découpe grossière des carcasses de porcs a été effectuée le jour suivant avec la technique de coupe MLP (Rebsamen *et al.* 1995). Selon les relevés de Bee (2005), les morceaux de carcasses grossièrement découpés ont été désossés en vue de la fabrication ultérieure des produits carnés.
Dans le centre de formation pour l'économie carnée suisse (ABZ) à Spiez (CH) on a fabriqué divers produits carnés à partir des matières premières de Posieux: Saucisses crues (→ salami, SAL), salaisons crues (→ lard cru, LC), saucisses échaudées (→ saucisse de Vienne, SV) et produits prêts pour la cuisson (→ hamburger de porc, HP). A l'exception des LC, les matières premières ont été groupées à l'intérieur des différentes classes d'IG. Pour les SAL (n = 20) et les LC (n = 47), la fabrication s'est effectuée en fonction des séries; pour les HP (n = 14) et les SV (n = 14), la matière première des deux séries a été congelée individuellement puis réunies pour la fabrication effectuée en une fois. Conjointement à la fabrication des produits carnés cités ci-dessus, les spécialistes de l'ABZ ont également effectué une évaluation de l'aptitude à la transformation des matières premières.
Les analyses des différents échantillons concernant leur teneur en nutriments et leur spectre d'acides gras (Bee *et al.* 2004) ont été effectuées dans les laboratoires d'ALP. En outre, l'oxydation de la graisse a été évaluée au moyen de différents composants aromatiques avec la GC-MS. De plus, on a déterminé des paramètres physiques, comme la tenue à la coupe (au moyen de l'appareil Warner Bratzler, WB) et la consistance de la graisse (au moyen de la pénétration de l'aiguille, 10-15 mm). Dix dégustateurs formés, faisant partie du panel d'ALP, ont évalué l'odeur, la saveur et la texture de chaque produit carné selon 14 à 17 critères spécifiques, classés sur une échelle d'intensité de 10 points. Après la première cuisson, la moitié des HP a été refroidie puis réchauffée une 2ème fois pour pouvoir démontrer l'effet du réchauffement sur les caractéristiques sensorielles en rapport avec l'IG. Au moyen de la planimétrie, on a également calculé la proportion de viande et la proportion de graisse au niveau de la 8ème et de la 11ème côte du LC et l'activité de l'eau (a_w) a été déterminée dans le SAL.
Pour la valorisation des résultats, afin de corriger l'effet éventuel de série, on a calculé des corrélations entre l'IG et les différentes caractéristiques à un niveau significatif de $P \leq 0.05$.

Résultats et discussion

A partir des variantes alimentaires utilisées dans l'essai de Bee (2005), on a pu obtenir un large écart-type des valeurs de l'IG telles qu'on voulait les obtenir pour le présent essai. La répartition des animaux dans les différentes classes d'IG ne s'est pas faite de façon uniforme en raison de la marge de fluctuation biologique.

Les spécialistes de l'ABZ ont considéré que les matières premières pour le SAL et le LC étaient mouillées et huileuses à partir d'un IG de 65. Par contre, on n'a constaté aucune particularité dans les matières premières du HP et de la SV.
A l'exception du LC (r^2 = 0.11 - 0.17), on n'a pas pu établir de corrélations significatives entre l'IG et la matière sèche, les teneurs en matière azotée, en graisse brute et en cendres brutes. Toutefois, l'IG a été mis en corrélation de façon significative avec la teneur en acides gras saturés (= SFA; LC: r = -0.55; SAL: r = -0.68; SV: r = -0.70) ainsi qu'avec la proportion relative en SFA (LC: r = -0.49; SAL: r = -0.62; SV r = -0.62) et en PUFA (LC: r = 0.53; SAL: r = 0.73; SV: r = 0.79); pour les HP, on n'a pas constaté de corrélations correspondantes.
Dans le cadre des analyses sensorielles, ce n'est que pour les LC que des corrélations significativement positives ont été établies avec l'IG pour les qualificatifs „épicé", „fumé" et „fibreux". En ce qui concerne les autres qualificatifs et les autres produits, on n'a pas constaté de corrélations statistiquement établies. Pour les HP, le 2ème réchauffement a eu une influence significativement négative sur les qualificatifs „rance", „juteux", „tendre" et „animal" (→ goût de porc).
Les signaux (hauteurs des pics) des marqueurs pour l'oxydation de la graisse n'ont présenté une corrélation significative que pour l'octène-1-ol-3 dans les LC (r = 0.51) et les SAL (r = 0.46), alors que pour les autres produits carnés aucune relation de ce type n'est apparue. Indépendamment de l'IG, le fait d'avoir réchauffé les HP a eu pour conséquence des signaux significativement plus élevés pour le pentanal, le pentanol-1 et l'octène-1-ol-3.
Les caractéristiques concernant la consistance de la graisse dans les SAL (travail total WB: r = -0.66, fig. 1; force maximum WB: r = -0.60) tout comme la consistance de la graisse dans les LC (force de pénétration de l'aiguille, 10-15 mm: r = -0.31) ont présenté une corrélation significativement négative avec l'IG. Les différences de l'IG dans les caractéristiques de la texture étaient comparables à celles enregistrées entre les deux séries. Les valeurs a_w des SAL ont présenté une corrélation significativement positive avec l'IG (Fig. 2). Il est intéressant de noter que dans les LC, on a constaté une corrélation significativement positive avec le rapport viande-graisse (Fig. 3), qui était avant tout conditionné par l'écart-type dans les surfaces graisseuses (r = -0.46).

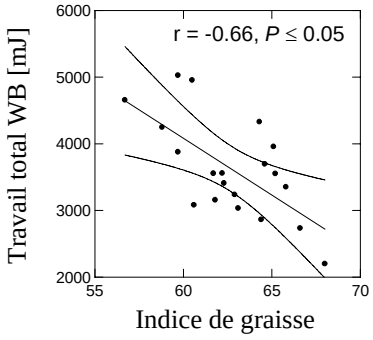


Fig. 1: Indice de graisse et travail total WB dans le salami

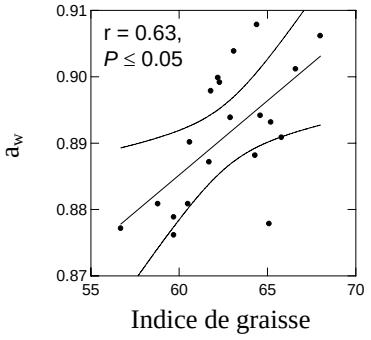


Fig. 2: Indice de graisse et valeur a_w dans le salami

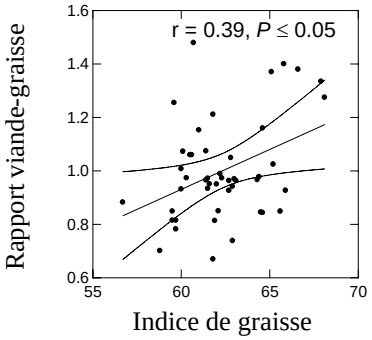


Fig. 3: Indice de graisse et rapport viande-graisse dans le lard cru

Conclusions

Suivant les produits carnés, des corrélations significatives ont été enregistrées avec l'IG, essentiellement avec les produits carnés crus, comme les SAL et les LC, tandis que ces corrélations était inexistantes pour les SV et les HP. Dans les SAL, ce sont surtout les relations entre l'IG et l'aptitude à la transformation de la matière première, sa consistance et sa résistance (valeur a_w) qui ont prévalu. En ce qui concerne les LC, ce sont l'aptitude à la transformation de la matière première, le rapport viande-graisse, la consistance de la graisse et son oxydation qui figuraient au premier plan. Le fait de réchauffer les HP s'est avéré préjudiciable pour diverses caractéristiques sensorielles.
Les résultats de cet essai peuvent donc contribuer à une éventuelle nouvelle évaluation de la valeur limite de l'IG qui est actuellement de 62. Celle-ci ne peut toutefois être réalisée que dans le cadre de négociations entre les producteurs et les personnes chargées de la transformation. Il convient aussi de prendre en compte l'aspect économique des différentes caractéristiques évaluées et d'autres produits carnés.

Références bibliographiques

Bee, G., 2005. Schriftenreihe des Institutes für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich, Heft 26: 155-158.
Bee, G., Guex, G., Herzog, W., 2004. J. Anim. Sci. 82: 1206-1218.
Prabucki A.L., 1991. Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich, Heft 5: 5-10.
Proviande, 2003. Richtlinien über die Erfassung der Fettqualität bei Schweinen. Proviande Klassifizierungsdienst, Bern.
Rebsamen, A., Schwörer, D., Lorenz, D., 1995. Der Kleinviehzüchter 43: 223-259.
Scheeder, M.R.L., Bossi, H., Wenk, C., 1999. Agrarforschung 6: 1-8.
Warnants, N., Van Oeckel, M.J., Boucqué, Ch.V., 1998. Meat Science 49(4): 435-445.

LA MESURE DE LA COULEUR DE LA VIANDE

RENERRE M.
Station QUAPA, Unité BPM, INRA Theix, 63122 St Genès-Champanelle

Introduction

Pour l'industrie de la viande ainsi que pour le consommateur, la couleur de la viande reste un facteur de qualité important. La couleur dépend de nombreux facteurs comme la concentration en pigments héminiques (particulièrement en myoglobine), de l'état chimique de ces pigments et des caractéristiques physico-chimiques de la viande. La myoglobine réduite (Mb, Fe^{++}), correspond au pigment en profondeur du muscle ou à la surface de la viande conservée sous vide ou sous CO_2. Exposé à l'air, le pigment se combine à l'oxygène pour former l'oxymyoglobine (MbO_2, Fe^{++}) de couleur rouge vif, synonyme de fraîcheur et attractive pour le consommateur. Les conditions pour passer de l'état réduit à l'état oxygéné (« blooming ») seront définies ultérieurement. La myoglobine réduite peut aussi se combiner avec d'autres ligands comme le monoxyde de carbone (CO) ou l'oxyde nitrique (NO) pour former la carboxy- et la nitroso-myoglobine dans les produits nitrités. Avec le temps, le contact de MbO_2 avec l'oxygène de l'air va conduire à la formation de myglobine oxydée (Fe^{+++}) ou metmyoglobine (MetMb), de couleur brune et non attractive. En parallèle, une altération de la flore microbienne de surface se fait jour et peut s'accompagner d'odeurs désagréables. Lorsque le taux de MetMb en surface atteint 20%, un consommateur sur 2 refuse d'acheter la viande (Renerre, 1990). Aux USA, environ 15% de la viande bovine vendue au détail est déclassée du fait de sa décoloration.

Myoglobine et couleur

Rapidement après l'abattage, et surtout durant le stockage de la viande, la vitesse de formation de myoglobine oxydée à la surface de la viande est dépendante de nombreux facteurs intrinsèques (animal (génétique…), âge, race, sexe, mode d'alimentation, type de muscle, pH/ potentiel glycolytique, …) ou de facteurs extrinsèques: température, concentration en oxygène, mode de stockage (à l'air, sous vide, sous atmosphère modifiée) voire illuminant, pollution microbienne en surface. La myoglobine est une protéine soluble, monomérique (153 résidus d'amino-acides chez les mammifères), composée de 8 segments d'hélice α, d'un PM d'environ 17000, avec le groupement héminique contenant l'atome de fer. Pour maintenir le pigment sous forme réduite, il faut que la pression d'oxygène environnante soit inférieure à 1,4 mm Hg. Rapidement après l'abattage, à l'air, et à basse température, la consommation d'oxygène par les mitochondries diminue, et la diffusion de l'oxygène augmente; de ce fait, la couche de MbO_2 en surface s'épaissit et la viande devient plus rouge (« blooming »). Au cours de la conservation, la couche de MetMb s'épaissit et se rapproche de la surface de la viande et la couleur passe du rouge au brun ; ce phénomène est maximum pour des pO2 de 7,5 mm à 7°C (Ledward, 1970). La stabilité de la couleur dépend ainsi essentiellement de la vitesse de consommation d'oxygène par les mitochondries, de la vitesse d'autoxydation de la myoglobine, en relation avec l'oxydation des lipides musculaires, et de la réduction de la myoglobine oxydée par des systèmes, ou non, enzymatiques (Renerre & Labas, 1987 ; Renerre, 2000) et du pool de NADH restant.

Mesures de la couleur

Il y a 3 sources principales de variation de la couleur : (1) le contenu en pigments héminiques (dépendant essentiellement des facteurs espèce, âge, régime alimentaire, sexe, type de muscle…), et le taux de persillé ; (2) la période précédant l'abattage (stress) et le mode d'abattage (volailles) en relation avec la vitesse de chute du pH, la valeur du pH ultime, le mode de réfrigération de la carcasse…. ; (3) le mode de stockage, de distribution, les processus d'oxygénation et d'oxydation (Hunt et al., 1991 ; Cassens et al., 1995).

Mesure de la teneur en myoglobine :

Même s'il existe d'autres méthodes dans la littérature, la méthode de mesure la plus simple et la plus utilisée (utilisant le chlorhydrate d'hématine) est celle décrite par Hornsey (1956) ; celle de Warris (1979) qui fait appel à des dérivés cyanurés peut aussi être utilisée avec plus de précautions. Des méthodes utilisant l'HPLC pour séparer la myoglobine de l'hémoglobine résiduelle (de l'ordre de 5% chez le bovin bien saigné) existent également.

Mesures visuelles subjectives :

La préparation de l'échantillon (voir plus loin) requiert des procédures standardisées qui doivent être répétables et reproductibles. Les appréciations visuelles dépendent des préférences individuelles, du mode d'exposition à la lumière, des déficiences éventuelles de l'œil et des caractéristiques de l'apparence qui vont influencer le jugement final (Hunt et al ; 1991). Après avoir sélectionné des juges, il est recommandé d'utiliser des échelles hédoniques (désirabilité, acceptabilité). Les mesures doivent être réalisées dans des conditions qui rappellent celles rencontrées par le consommateur (/présentation, éclairage, température, mode d'emballage). Les angles d'appréciation visuelle doivent rester constants par rapport à la source lumineuse (0/45° ; 45/O°) pour prendre en compte le maximum de réflectance diffuse et des références standards, différentes pour chaque espèce, doivent être fournies. Il faut bien avoir à l'esprit que la mesure de la couleur prend en compte 3 composants: l'éclairage, l'objet (la viande) et le récepteur (l'œil ou la cellule photoélectrique). Les termes utilisés pour évaluer la couleur de la viande sont très variés et vont par exemple de bon à mauvais, de rouge vif à marron foncé (ou marron-gris); d'indésirable à désirable ; de totalement décoloré à non décoloré ; etc….Un des seuls guides qui existe, et fait référence, dans le domaine de l'évaluation hédonique de la couleur de la viande a été publié par l'AMSA (Hunt et al., 1991).

Mesures instrumentales de la couleur

La mesure de la couleur est un outil important utilisé pour évaluer la production et les traitements durant les différents process et est incluse dans les programmes de contrôle qualité. Au minimum à 24h post-mortem (pH ultime atteint), l'échantillon de muscle doit être prélevé sur la carcasse (*Longissimus dorsi* de préférence) et coupé si possible dans le sens perpendiculaire à l'axe principal des fibres. L'échantillon doit avoir une épaisseur de 1 à 1,5cm. Dans ces conditions, le morceau de viande est opaque, et va absorber, réfléchir, et diffuser la lumière incidente en évitant les artefacts de mesure dus à la lumière transmise à travers l'échantillon. En cas de stockage, la température, le mode d'éclairage, et le mode d'emballage doivent être spécifiés. Après le prélèvement, l'oxygénation du morceau de viande (« blooming ») doit être faite au minimum pendant une heure à + 3°C avant toute mesure. L'assèchement de surface doit être évité grâce à l'utilisation d'un film perméable à l'oxygène qui sera ou non gardé en fonction du mode d'instrumentation utilisé. Il est recommandé de faire des triples de mesures. Contrairement aux méthodes utilisant l'absorbance, les mesures de réflectance sont recommandées et sont les plus représentatives de ce que l'œil voit. Plusieurs des effets de surface peuvent être corrigés par l'utilisation de rapports ou de différences de réflectance à différentes longueurs d'onde du spectre visible (400-700 nm) (Cassens et al., 1995).

Comme les valeurs issues du diagramme de Munsell (bien que servant de références) ne sont plus utilisées, les paramètres recommandés vont prendre en compte le système de couleur (Hunter, CIE, tristimulus…), l'illuminant (A, C, D65, …), l'angle de vision de l'observateur standard (2 ou 10°) et la taille de la surface mesurée. Actuellement, les paramètres recommandés sont la source D65, un observateur standard de 10° (CIE, 1964), et les mesures de L* (luminosité) a* (indice de rouge) et b* (indice de jaune) dans le système CIELAB (1976) (à la place du système Hunter-Lab) avec des angles de vision 45/0, 0/45 ou diffus (d/8). Les rapports a*/b*, l'angle de teinte (ou la teinte) $\tan^{-1}b^*/a^*$ et la saturation (ou chroma) $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ sont calculés. Durant le stockage, l'augmentation de la teinte et la diminution de la saturation indiquent un changement de couleur du rouge au jaune-marron et donc une oxydation. L'oxydation peut aussi être suivie par la diminution de a*. La calibration de l'appareil peut se faire avec des noirs standard (L=0) et des blancs (L=100) composés de sulfate de baryum ou d'oxyde de magnésium. La réflexion spéculaire doit être exclue. Des photomètres qui ne prennent en compte qu'une seule longueur d'onde peuvent aussi être utilisées en abattoir ainsi que des colorimètres qui se différencieront par la taille de la surface mesurée, le type de lampe (halogène ou Xénon), l'angle de mesure. Le spectrophotomètre, souvent équipé d'une sphère intégratrice, est un appareil de laboratoire où la réflectance est mesurée tous les nanomètres avec la plus grande précision possible. Parmi les rapports ou les différences de réflectance utilisés pour mesurer l'oxydation de la myoglobine, de nombreuses méthodes existent : R_{630}-R_{580}, R_{572}/R_{525}, $K/S_{572}/K/S_{525}$ (avec $K/S = (1-R)^2/2R$), (Faustman & Cassens, 1990 ; Renerre, 2000), mais aussi R_{630}/R_{580}, R_{572}/R_{525}, R_{507}/R_{572}, R_{474}/R_{597}, R_{632}-R_{614}, …(Hunt, 1980 ; Mancini et al ; 2003). Nous avons montré (Renerre & Mazuel, 1985) qu'avec une valeur de R_{630}-R_{580} égale à 12,5, un consommateur sur 2 rejetait la viande. Pour mesurer par réflectance, la quantité des 3 formes de pigment, il n'existe pratiquement que la méthode décrite par Krzywicki (1979), adaptée à la viande rouge, et qui utilise différentes longueurs d'onde. Il nous a été ainsi possible de classer plusieurs muscles d'une carcasse de bovin en relation avec le type métabolique des fibres musculaires déterminé par la quantité de cytochromes $a+a^3$ et la consommation d'oxygène par les mitochondries (Renerre, 1984). Après une conservation de 8 jours sous film perméable, la quantité de metmyoglobine en surface variait ainsi de 25 à plus de 50%. Cependant la méthode de Krzywicki ne donne pas satisfaction pour les viandes blanches comme le porc et surtout le poulet et la dinde (Mercier et al. 1998). La quantité d'oxymyoglobine formée pour ces espèces est faible, comparé au bovin, et pose des problèmes de mesure spécifiques liés entre autres, chez la volaille, à des taux importants de cytochrome C (Millar et al., 1994). Récemment (Mancini et al. 2003) montrèrent que le rapport K/S_{610} : K/S_{525} pouvait être utilisé pour mesurer la quantité de myoglobine oxydée dans la viande hachée de bœuf. D'autres méthodes font appel à des systèmes utilisant des processeurs électroniques ou à des fibres optiques qui permettent d'obtenir des spectres de réflectance à partir des muscles encore sur la carcasse. Enfin, il ne faut pas oublier qu'une variable ΔE, peu utilisée $((L_2-L_1)^2 + (a_2-a_1)^2 + (b_2-b_1)^2)^{1/2}$, et bien reliée au jugement visuel, est intéressante si l'on veut prendre en compte les différences de couleur globales entre échantillons pas seulement liées au taux de metmyoglobine en surface.

Références

Cassens R., Demeyer D., Eikelenboom G., Honikel K., Johanson G., Nielsen T., Renerre, M ; Richardson, I., Sakata, R., 1995, Proc. 41th ICoMST, San-Antonio, 410- 411.

Faustman C., Cassens R., 1990a, J. Muscle Foods, 217-243.

Hornsey H., 1956, J. Sci.Food Agric. , 534-540.

Krzywicki K., 1979, Meat Sci., 1-10.

Hunt M.C., Acton J., Benedict R., Calkins C., Cornforth D., Jeremiah L., Olson D., Salm D., Savell J., Shivas S. , 1991, AMSA (Amer. Meat Sci. Asso.) on Gidelines for meat Color Evaluation, Proc. 44nd Rec. Meat Conf., 3-17.

Ledward, D.A., 1970, J. Food Sci., 33-39.

Mercier Y., Gatellier P., Viau M., Remignon H., Renerre M., 1998, Meat Sci., 301-318.

Mancini R., Hunt M., Kropf D., 2003, Meat Sci., 157-162.

Millar S., Wilson R., Moss B.M., Ledward D.A., 1994, Meat Sci., 397-406.

Renerre M., 1984, Sci. Aliments, 567-584.

Renerre M., 1990, Int. J. Food Sci. Technol., 613-630.

Renerre M., 2000, In "Antioxidants in Muscle Foods", Wiley Intersci., p:113-133.

Renerre M., Labas R., 1987a, Meat Sci., 151-167.

Renerre, M., Mazuel, 1985, Sci. Aliments, 541-557.

Warris, 1979, J. Food Tech., 75-82

CARACTERISATION HISTOLOGIQUE ET ULTRASTRUCTURALE DE L'EFFET DU SEL SUR LA VIANDE DE BOEUF HACHEE

LABAS R.[1], ASTRUC T.[1], CHANIER L.[1], VENDEUVRE J. L.[2*], MARTIN J. L.[2] et TAYLOR R.[3]

1. INRA, Unité Qualité des Produits Animaux, Theix 63122 St Genès Champanelle, France
2.CTSCCV 94704 Maison Alfort, France. *nouvelle adresse : IFIP Antenne Maisons-Alfort, 7 av Gal de Gaulle 94700-Maisons-Alfort 3. EWOS Innovation 4335 Dirdal, Norvège
ultrastructure : Thierry.Astruc@clermont.inra.fr histologie : Roland.Labas@clermont.inra.fr

Introduction

Le règlement CE 853/2004 applicable au 1er janvier 2006, introduit une segmentation entre les « produits à base de viande » qui sont des produits transformés et les « préparations de viandes » qui sont des viandes fraîches y compris les viandes réduites en fragments auxquelles ont été ajoutées des denrées alimentaires, des condiments ou des additifs ou qui ont subi une transformation insuffisante pour modifier à cœur la structure fibreuse des muscles et ainsi faire disparaître les caractéristiques de la viande fraîche. L'objectif de cette étude est de caractériser l'effet du taux de sel sur la structure de la viande hachée et sur la morphologie ultra-structurale des fibres musculaires par des techniques de microscopies optiques et électroniques en vue d'éclairer à la qualification des produits.

Matériels et méthodes

Préparation de mêlées de viande hachée, à la grille de 3.2mm , à base d'avants de bœuf parés à trois niveaux de sel : 0, 8 et 16 g/Kg de mêlée. Pour chaque mêlée, fabriquée et maintenue à 0°C, des prélèvements sont réalisés à J1 et J2 puis congelés dans l'isopenthane refroidi par l'azote liquide pour l'histologie. Des coupes au cryostat de 10µm sont colorées par la méthode hématoxyline, éosine, safran (HES). Sur le plan ultrastructural, les prélèvements sont fixés au glutaraldéhyde, post fixés à l'acide osmique et inclus en résine. Les coupes ultrafines sont contrastées à l'acétate d'uranyle et au citrate de plomb.

Quantification du pourcentage de destructuration sur coupes histologiques : Pour chaque niveau de sel, trois coupes distinctes sont utilisées et 50 images sont réalisées sur chacune d'elles,. Chaque image est répartie dans une classe correspondant au % de surface du champ destructuré : classes 0 (champ intact, fig.1A), classe 25 (1 à 25% de destructuration), classe 50 (26 à 50% de destructuration), classe 75 (51 à 75% de destructuration, fig.1B) et classe 100 (76 à 100% de destructuration,fig.1C). La fréquence de répartition des champs d'observation est analysée.

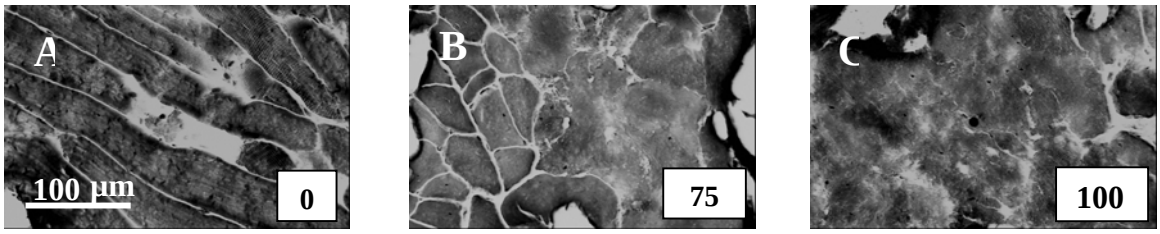


Figure 1 : Distribution entre classes en relation avec le % de surface de champ déstructurée

Résultats et discussion

Histologie : L'addition de sel dans les mêlées à 0,8 et 1,6 % induit l'apparition de zones déstructurées amorphes (fig. 2, D) au niveau desquelles les membranes cellulaires ont disparu à l'inverse d'autres zones conservées intactes. (fig. 2, I). De nombreux champs d'observations présentent une trame de perimysium qui joue le rôle de barrière à la diffusion du sel.

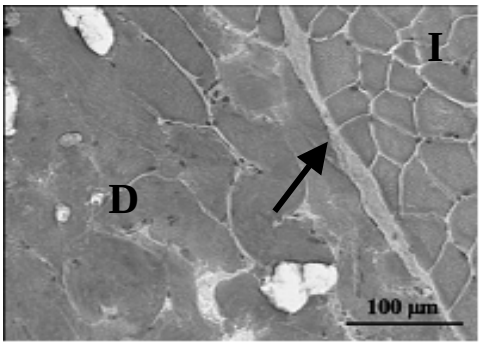


Figure 2 : fibres destructurées (D) coloration HES Perimysium: flèche

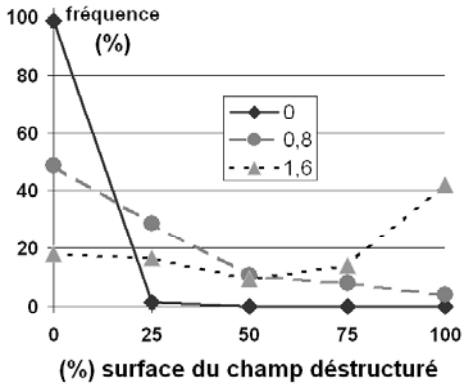
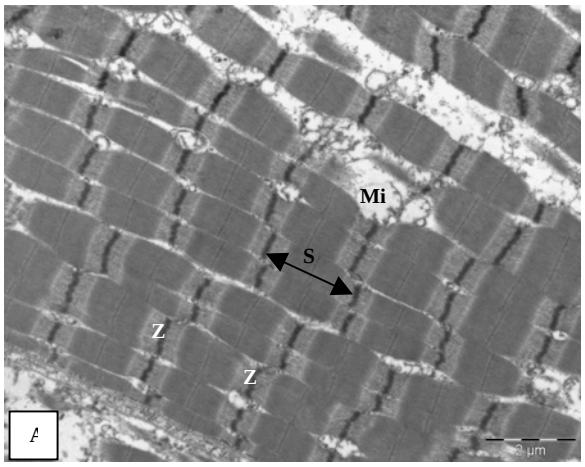


Figure 3 : Evolution du pourcentage de déstructuration en fonction de la teneur en sel

L'analyse de la fréquence de répartition des champs d'observation entre les différentes classes (fig. 3) fait ressortir une différence significative au seuil de 5% entre les 3 classes. Les données cumulées indiquent que sans addition de sel, seulement 1 % du total de la surface observée est fortement déstructurée contre respectivement 22.5 % et 60.2 % en présence de 8g et 16g de sel par Kg de mêlée.

Un test d'observation en aveugle des coupes histologiques, a permis de dissocier, avec 100% de réussite, les mêlées sans sel des mêlées avec 0,8 ou 1,6 % de sel.

Ultrastructure Le hachage et le mélange à 0°C ainsi que le stade de prélèvement, ici après 24h à 0°C, provoquent des modifications des structures intracellulaires comme un décalage des myofibrilles et une détérioration importante des mitochondries, avec parfois des ondulations des myofibrilles liées aux contraintes mécaniques du traitement technologique. Cependant, la structure myofibrillaire reste visible avec une bonne conservation des sarcomères (Fig. 4A). L'addition de sel entraîne une détérioration importante de la structure myofibrillaire (matérialisée par des flèches sur la figure 4 B) pour 16 % et 50 % de la surface observée pour des teneurs en sel respectives de 0,8 et 1,6 %. Cette importante désorganisation est probablement le résultat de l'interaction entre les traitements mécaniques du hachage, du malaxage et l'augmentation de la force ionique dans le milieu qui favorise la solubilisation de certaines protéines musculaires (Penny, 1967).
La disparition des parois cellulaires observée en histologie sur les zones déstructurées est mise en évidence à l'échelle ultrastructurale (voir fig. 4 B) mais pas de façon systématique.



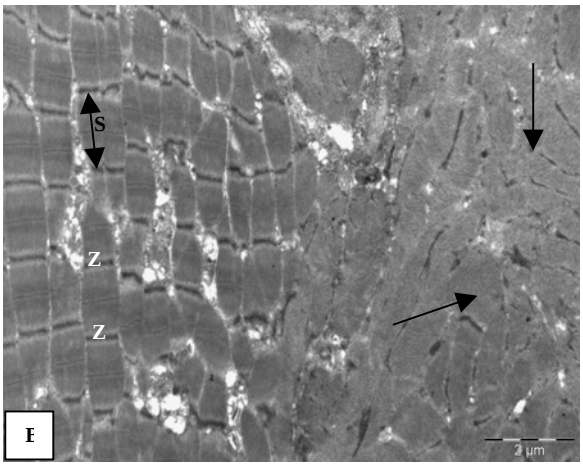


Fig.4 : Effet du salage sur l'ultrastructure du muscle haché et malaxé. Z : strie Z ; S : sarcomère ; Mi : mitochondrie
A : échantillon témoin non salé **B** : échantillon salé (16 g de sel/Kg de mêlée)

Conclusions

Les résultats présentés confirment que l'utilisation de la méthode histologique constitue un outil de caractérisation de la conservation ou de l'altération de la structure fibreuse à cœur dans des mêlées de viande hachée. La concentration en perimysium, qui joue le rôle de barrière, doit tenir une place importante dans la diffusion du sel, comme cela a déjà été relaté par Offer et Knight (1988), d'où un effet potentiel du type de muscle. Il est important de noter que l'étape de hachage et de mélange des mêlées représente une phase majeure de fragilisation des structures complémentaire à l'effet du sel. Les résultats de l'approche histologique sont corroborés par ceux de l'étude ultrastructurale. Les recherches précédentes de Ripoche et al (2001) qui mettaient en évidence une plus grande déstructuration de la viande de porc ayant subi le même traitement technologique soulignent un important effet de l'espèce sur la sensibilité des muscles à la présence de sel.

References :

1- Offer G.et Knight P. ,1988. The structural basis of water holding in meat. In Developments in meat science, vol 4. Lawrie R, editor, pp 63-173 New York. Elsevier Applied Science.
2- Penny, I.F. ,1967. The effect of post mortem conditions on the extractability and adenosine triphosphatase activity of myofibrillar proteins of rabbit muscle. J. Food Technol. 2 : 325-338.
3- Ripoche A. et al. ,2001. Sausage structure analysis. Journal of Food Science 66, 5: 670-674

Cette étude a été réalisée avec le soutien de l' OFIVAL et de l' INTERBEV

CARACTERISATION DES TISSUS ADIPEUX DE DECOUPE DES BOVINS

Laurent PICGIRARD
ADIV Association - 2 rue Chappe – 63039 Clermont-Ferrand cedex 2

INTRODUCTION

Depuis 3 à 4 ans, l'ADIV étudie, avec le concours d'INTERBEV et de l'OFIVAL, de nouvelles pistes de valorisation des muscles de l'avant de bœuf. Plusieurs concepts et plusieurs transferts de technologie ont été appliqués au bœuf à partir du savoir faire existant sur le porc. Une des limites à la transformation des muscles de bovins pour fabriquer des produits charcutiers (pâte fine, saucissons cuits, farces, …) est la caractéristique physico-chimique de son tissu adipeux. Le gras de bœuf est en effet réputé pour avoir un goût très caractéristique souvent déprécié des consommateurs. De plus, sa texture est souvent peu fondante si bien qu'à la dégustation, il a tendance à tapisser le palais du consommateur tel un savon. L'objectif du projet est donc de mieux caractériser ce tissu et notamment ses propriétés rhéologiques, son point de fusion, sa composition en acides gras dans l'optique de définir des voies d'amélioration de son aptitude à la transformation.

MATERIELS ET METHODES

L'étude de caractérisation a concerné le gras de sternum, gras plutôt dur au toucher, susceptible d'être utilisé en transformation puisqu'il est attenant aux masses maigres du caparaçon.
Trois types de carcasses ont été choisis pour la caractérisation :

- 5 carcasses de vaches issues de troupeau allaitant âgées de 7 ans en moyenne (race à viande) ;
- 5 carcasses de vaches issues de troupeau laitier âgées de 6 ans en moyenne (race laitière) ;
- 5 carcasses de vaches issues de troupeau laitier (race laitière) âgées de 11 ans en moyenne (race laitière âgée).

Les gras de sternum de ces carcasses ont été comparés à un mélange de bardières issues de 5 carcasses de porc.
Ont été mesurés sur ces tissus adipeux :

- la matière sèche (norme NFV 04-402) ;
- les lipides libres (norme ISO 1444) ;
- le collagène (norme NFV 04-415) ;
- les protéines (norme NFV 04-407) ;
- la composition en acides gras exprimée en % des acides gras totaux ou en mg d'acide gras/g de tissu sec ;
- les caractéristiques de fusion par analyse enthalpique différentielle (AED) à la vitesse de 1°C/min. ;
- la contrainte maximale lors d'une compression de l'échantillon à 80% de déformation.

RESULTATS

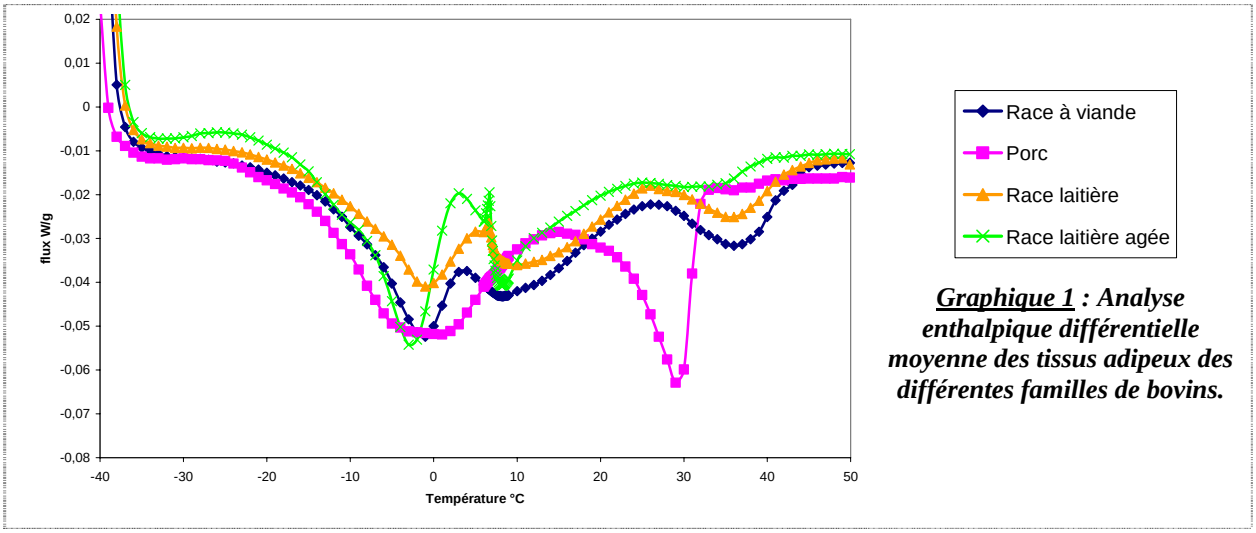
Les teneurs en matières sèches, lipides libres, collagène et protéine ne sont pas significativement différents entre les 3 catégories d'animaux.
Les rapports Collagène/Protéine des gras de sternum de bovins sont, par contre, très inférieurs à ceux de bardière (tableau 1).

	Porc	**Gros bovins**			**Effet type de bovin**
		Race à viande	Race laitière	Race laitière âgée	
Matière sèche (%)	86,9	82,0	86,2	85,5	NS
Lipides libres (%)	82,6	78	82,2	81,6	NS
Collagène (%)	2,93	3,17	2,22	2,68	NS
Protéine (%)	3,3	4,1	3,34	4	NS
C/P (%)	88,8	80,9	70,1	67,4	NS

Tableau 1 : Composition chimique des tissus adipeux de bovins(exprimés en % du tissu frais)

Le rapport C/P inférieur des tissus adipeux de bovins est corroboré par les résultats des mesures rhéologiques. La contrainte maximale à la déformation des tissus adipeux de porc vaut 22,6 KN/cm² ± 3,9 en moyenne alors que celle des tissus adipeux de bovins oscille entre 16,5 KN/cm² ± 6 pour les animaux issus de cheptel laitier et 14,4 KN/cm² ± 4 pour les animaux issus de cheptel allaitant.

Concernant les profils de fusion, les tissus adipeux issus de cheptel laitier âgé sont plus fusibles que ceux issus de cheptel allaitant ou laitier jeune (6 à 7 ans) mais restent bien moins fusibles que ceux de porc (cf. graphique 1). Cette caractéristique peut être reliée à la composition en acides gras des tissus adipeux de ces animaux qui contiennent, mais de manière non significative, plus d'acides gras mono-insaturés (AGMI) au détriment des acides gras saturés (AGS). L'analyse des compositions en acides gras (cf. tableau 2) montre aussi que les tissus adipeux de bovins ont des teneurs en AGPI très faibles (4%) comparativement au porc (17 à 18%), ceci quel que soit l'âge des animaux du cheptel, ce qui corrobore leur caractère moins fusible mais surtout ce qui leur confère des qualités nutritionnelles moindres. Les tissus adipeux de bovins ont malgré tout quelques atouts nutritionnels que n'ont pas ceux du porc : leur rapport n-6 / n-3 est faible et ils contiennent, pour les animaux issus de cheptel allaitant seulement, des acides linoléiques conjugués (CLA), molécules pouvant avoir un effet bénéfique sur la santé. Enfin, les tissus adipeux issus de cheptel allaitant ou laitier jeune ont également des teneurs en AGPI n-3 plus élevées (principalement des C18:3) que ceux issus de cheptel laitier âgé ce qui est meilleur au niveau nutritionnel.



***Graphique 1* : Analyse enthalpique différentielle moyenne des tissus adipeux des différentes familles de bovins.**

	Porc	Gros bovins			Effet type de bovin
		Race à viande	Race laitière	Race laitière âgée	
AGS (%)	39,7	43	44,86	39,78	NS
AGMI (%)	42,9	52,7	51,4	57,1	NS
Dont AGMI trans	*0*	*3,94(a)*	*2,28(b)*	*1,42(c)*	*xxx*
AGPI totaux (%)	17,4	4,26	3,74	3,06	Ns
Dont AGPI n-3 (%)	*1,3*	*0,58(a)*	*0,58(a)*	*0,34(b)*	*x*
AGPI n-6 (%)	*15,8*	*2,28*	*2,42*	*2,02*	*NS*
C18 :3 (%)	*1,2*	*0,58(a)*	*0,58(a)*	*0,32(b)*	*x*
CLA (%)	0	1,4(a)	0,74(b)	0,7(b)	x
Rapport n-6/n-3	12,32	3,96	4,48	5,53	NS

Tableau 2 : Composition en acides gras des tissus adipeux de bovins

CONCLUSION

Les tissus adipeux de gros bovins ont des caractéristiques mécaniques, chimiques et thermiques très différentes de celles de porc. Ces spécificités ne sont pas favorables à la fabrication de charcuteries et nécessite de réduire le taux de matière de produits finis pur bœuf ou de complémenter les produits en matières grasses d'origine différente (huiles végétales, graisses animales plus fusibles). Des études complémentaires sont en cours pour identifier les molécules responsables du goût spécifique de ce gras. De plus, les caractéristiques physico-chimiques des tissus adipeux de gros bovins varient en fonction du cheptel et de l'âge des animaux. Des expérimentations mettant en œuvre un nombre important d'animaux mériteraient d'être menées pour conforter ces observations.

Remerciements : les analyses enthalpiques différentielles ont été réalisées par le Laboratoire de Génie Chimique et Biochimique (LGCB) de l'Université Blaise Pascal. L'auteur remercie en particulier Christophe Vial & Reza Djelveh pour leur participation.

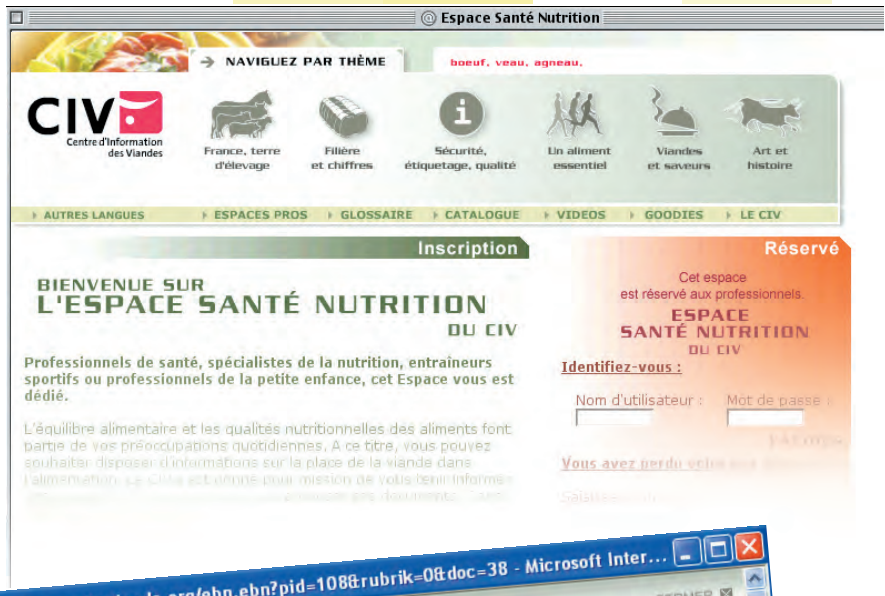
Elevage et viandes bovine, ovine, chevaline et porcine :

En savoir plus avec le site web et la documentation du Centre d'Information des Viandes

www.civ-viande.org

Professionnels, étudiants, consommateurs, amateurs de cuisine ou demandeurs de conseils alimentaires... le site du CIV vous permet à tous d'accéder à une véritable encyclopédie interactive mais aussi à l'actualité du secteur des viandes bovine, ovine, chevaline et porcine.

Choisissez de naviguer **par thème** ou par **espèce animale** pour en savoir plus sur l'élevage, la filière et ses caractéristiques de production, sur la viande et ses qualités nutritionnelles et gastronomiques.



Quatre "ESPACES PRO" :

Réservés aux **professionnels de la Presse**, de l'**Enseignement**, de la **Santé** et de la **Restauration Hors Domicile**.

Vous souhaitez de la documentation ?

Toutes les publications du CIV sont répertoriées dans son catalogue selon trois principaux thèmes :
Filière Viande, Viande & **Santé, Viande** & **Gastronomie**.
Ce catalogue est disponible sur le site du CIV et permet la commande en ligne des documents ou leur téléchargement.

Hadd.k

le fichier d'information

Le CIV a également mis en place un fichier d'information pour les professionnels de la santé et les enseignants qui souhaitent recevoir les nouveaux documents édités qui leurs sont destinés.

CIV
Centre d'Information des Viandes
64 rue Taitbout • 75009 Paris
www.civ-viande.org