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

Hors série

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

19 et 20 Octobre 2010
Clermont-Ferrand

JSMTV

INRA

LE PÔLE VIANDE

ADIV viande performances

FranceAgriMer

CIV Centre d'Information des Viandes

INTRODUCTION

Aux 13èmes Journées "Sciences du Muscle et Technologie des Viandes »
19 et 20 Octobre 2010 à Clermont-Ferrand

Les 13èmes JSMTV sont des journées d'information et d'échanges sur la recherche, les applications de la recherche et les préoccupations des opérateurs économiques du secteur des produits carnés. Les équipes francophones de recherche et de développement des secteurs publiques, professionnels et privés sont invitées à présenter les résultats de leurs travaux auprès des acteurs techniques, économiques, scientifiques des filières de production, de transformation des viandes, produits carnés et piscicoles.

L'Unité de Recherches sur les Herbivores de l'INRA de Theix, le GIS MPVC (Muscle Viande et Produits Carnés) se sont mobilisés pour l'organisation de la 13ème édition des JSMTV à Clermont-Fd. L'organisation de ces journées a bénéficié de l'appui des établissements de recherche (INRA) et de recherche-développement (ADIV, CTCPA, Institut de l'Elevage, ITAVI, IFIP) et du soutien financier du Département INRA - Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage, de FranceAgriMer et du CIV.

La 13ème édition des JSMTV est composée de cinq sessions coordonnées, complétée par une table ronde dans l'ordre suivant :

- Valeurs nutritionnelle et valeur santé. Coordination : Didier REMOND (INRA UNH, Theix) et Jérôme NORMAND (Institut de l'Elevage, Lyon).
- Technologies et environnement. Coordination : Christophe DAGOT (Université de Limoges), et Pierre-Henry DEVILLERS de l'ADIV,
- Procédés de transformation et de conservation. Coordination : Jean Bernard GROS (Univ. B. Pascal, LGCB, Clermont Ferrand) et Xavier JOLY (CEVPM)
- Table ronde : *« Vers l'étiquetage nutritionnel et environnemental des produits carnés ; point de vue des secteurs professionnels »*. Animation : Gilles NASSY (Pôle Viandes et Produits Transformés de l'IFIP) avec Estelle PANIER (Chef de projet Environnement à l'ANIA) et Laurent PRADEILLES (Directeur Méthodes et R&D, Société Madrange).
- Qualités microbiologique et chimique. Coordination : Régine TALON (INRA, Unité de Microbiologie, Theix) et Brice MINVIELLE (IFIP Le Rheu).
- Bases biologiques de la qualité et génétique-génomique. Coordination : Hubert LEVEZIEL (UMR UGMA, Limoges), Didier MICOL (URH, INRA Theix) et Pierrick HAFFRAY (SYSAAF, Rennes).

Chaque session comprend des conférences sur invitation et des présentations orales sélectionnées parmi les communications proposées. La présentation des affiches est complétée par des ateliers thématiques durant lesquels les auteurs présentent rapidement leurs travaux et dialogue avec l'auditoire.

Un document – Numéro Hors Série de la revue « VIANDES & PRODUITS CARNES » - comprenant l'ensemble des communications orales et des affiches est remis à chaque participant. Une version anglaise des textes des conférences invitées sera en outre publiée dans la revue « Science des Aliments ».

Plus de 150 participants sont attendus pour suivre 9 conférences invitées et 20 communications orales, discuter avec les auteurs de 54 affiches présentées et échanger avec les partenaires lors de la table ronde.

Le comité d'organisation local vous souhaite la bienvenue au Domaine du Marand en Auvergne et vous remercie de votre contribution à la réussite de ces **13èmes Journées "Sciences du Muscle et Technologie des Viandes** », occasion d'échanges fructueux entre le monde scientifique et professionnel.

13ème Journées des
Sciences du Muscle et Technologies de la Viande

JSMTV

19 et 20 octobre 2010 à Clermont-Ferrand

Comité scientifique des 13èmes JSMTV

Dominique BAUCHART (INRA Clermont-Fd)
Cécile BERRI (INRA Tours)
Joseph CULIOLI (INRA Clermont-Fd)
Jean Dominique DAUDIN (INRA Clermont-Fd)
Christophe DENOYELLE (Institut de l'Élevage)
Pierre Henri DEVILLERS (ADIV)
Stéphanie. FONTAGNE (INRA St-Pée sur Nivelle),
Bernard FOSTIER (IFIP)
Jean Bernard GROS (Université Blaise Pascal)
Florence LEFEVRE (INRA Rennes)
Hubert LEVEZIEL (INRA Limoges)
Catherine MENARD (InnoViandes)
Laurent MEUNIER (Vigie Viande)
Brigitte PICARD (INRA Clermont-Fd)
Didier REMOND (INRA Clermont-Fd)
Régine TALON (INRA Clermont-Fd)

Comité d'organisation national des JSMTV

Cécile BERRI (INRA Tours)
Joseph CULIOLI (INRA Clermont-Fd)
Jean Dominique DAUDIN (INRA Clermont-Fd)
Christophe DENOYELLE (Institut de l'Elevage)
Michel DUCLOS (INRA Tours)
Bernard FOSTIER (IFIP)
Vérane GIGAUD (ITAVI Tours)
Florence LEFEVRE (INRA Rennes)
Laurent MEUNIER (Vigie Viande)
Jacques MOUROT (INRA Rennes)
Alain PEYRON (ADIV)
Brigitte PICARD (INRA Clermont-Fd)
Alix PLOUVIER (FranceAgriMer)
Jean Pierre POMA (CTCPA)
Gilles RENAND (INRA Jouy-en-Josas)
Pierre SANS (INRA Toulouse)

Comité d'organisation local des 13èmes JSMTV

Marc AUGERGOUZ
Nicolas BARRIÈRE
Dominique BAUCHART
Odile BERNARD
Jean Dominique DAUDIN
Didier MICOL
Marie José MONSEGU
Jean Luc MONTEL
Brigitte PICARD
Matthieu REICHSTADT

TABLE DES MATIÈRES

Conférence Introductive

Entre discours et réalité, le consommateur de viande face aux questions de bien-être animal, de santé humaine et de protection de l'environnement
G. Cazes-Valette 13

Valeur nutritionnelle et Valeur Santé : Conférence invitée

Viandes rouges et risques de cancer du colon
F. Pierre, N. Bastide et D.E. Corpet 23

Valeur nutritionnelle et Valeur Santé : Communications

Paramètres de digestion in vitro des protéines carnées.
M.-L. Bax, L. Aubry, P. Gatellier, D. Remond et V. Santé-Lhoutellier 33

L'Addition de Palmitostéarine à la Ration n'altère pas la Valeur Nutritionnelle des Acides gras de la Viande chez la Vache Normande en finition
D. Bauchart, A. Thomas, M. Habeanu, B. Lyan, D. Durand et J. Normand 35

Qualité nutritionnelle de la viande d'agneau de race barbarine produite en bergerie ou sur parcours : teneur en lipides et composition en acides gras
L. Majdoub-Mathlouthi, B. Saïd et K. Kraiem 37

Prédiction de la Teneur en Acides Gras Polyinsaturés n-3 à Longue Chaine des Viandes Bovines par une Approche de Méta-Analyse
D. Gruffat, F. Belard, J. Vernet, D. Durand, D. Bauchart et I. Ortigues-Marty 39

Amélioration de la qualité nutritionnelle des jambons secs enrichis en acides gras polyinsaturés n-3 par l'introduction d'antioxydants d'origine végétale dans la ration
G. Mairesse, M. Benet, K. Meteau, H. Juin, D. Durand et J. Mourot 41

Effet de différents systèmes d'élevage sur la composition en acides gras de la viande d'agneau
M. El-Affifi, K. Bouderoua et J. Mourot 43

Effet du sexe sur la biodisponibilité des acides gras n-3 chez le porc
R. De S, M. Fillaut, G. Robin et J. Mourot 47

Qualité nutritionnelle de la viande de trois souches de poulets fermiers produites sur parcours : teneur en lipides et composition en acides gras
N. Mathlouthi, L. Majdoub-Mathlouthi, H. Elayeb, M. Ben Hammouda et R. Bergaoui 49

Un apport en graines de lin extrudées chez le poulet et la dinde participent à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de leur viande
M. Guillevic, G. Mairesse, P. Weill, J.-M. Guibert et G. Chesneau 51

Effet de l'apport de graines de lin dans le régime sur la qualité nutritionnelle de la viande de lapin.
F. Benatmane, M. Kouba, M. Fillaut, G. Robin et J. Mourot 53

Prévention de l'oxydation des lipides de la viande de porc enrichie en acides gras n-3 par l'ajout d'antioxydants naturels dans la ration
G. Mairesse, M. Benet et J. Mourot 55

Effet de la durée de distribution dans le régime d'antioxydants végétaux sur l'oxydation des acides gras de la viande de porc et des produits transformés.
J. Mourot, M. Arturo-Schaan et R. Foret 57

Modification du profil électrophorètique des protéines musculaires après traitement thermique
S. Traoré, L. Aubry, P. Gatellier, W. Przybylski, D. Jaworska, K. Kajak-Siemaszko et V. Santé-Lhoutellier 59

Développement d'un modèle mimétique de la viande pour l'étude des modifications physicochimiques des protéines au chauffage.
A. Promeyrat, P. Gatellier, V. Santé-Lhoutellier et J.-D. Daudin 61

Prédiction des quantités d'acides gras présentes dans des tissus en fonction de la quantité d'acides gras ingérée par des porcs
A. Lebert, G. Mairesse et J. Mourot 63

Influence du niveau de peroxydation lipidique de l'aliment sur l'évolution des défenses anti-oxydantes chez la truite arc-en-ciel
S. Fontagné-Dicharry, E. Lataillade et A. Surget 65

Les hydroxyalkenals liés aux protéines sont-ils des marqueurs discriminants de la peroxydation des AGPI n-3 et n-6 dans la viande bovine ?
M. Gobert, C. Cossoul, B. Comte, E. Pujos-Guillot, C. Gladine, C. Joly, D. Bauchart et D. Durand 67

Spectroscopie dans le proche infra-rouge et prédiction de la teneur en lipides du filet de poulet
P. Chartrin, X. Rousseau, V. Gigaud, D. Bastianelli et E. Baéza 69

Technologies et Environnement : Conférence invitée

L'analyse du cycle de vie et l'éco-conception au service de l'amélioration des performances environnementales des procédés
S. Omont, D. Froelich et G. Gesan-Guiziou 73

Procédés de transformation et de conservation : Conférences invitées

La filière française des produits aquatiques Marché, risques sanitaires, évolutions récentes et présentation de quelques enjeux technologiques
B. Le Fur 83

Procédés de conservation/transformation et qualité sensorielle du poisson
G. Choubert 91

Procédés de transformation et de conservation : Communications

Friture plate de viande bovine : Prise en huile évaluée par IRM et modification de la composition en acides gras analysée par CPG
S. Clerjon, A. Kondjoyan, J.-M. Bonny, S. Portanguen, A. Thomas, D. Bauchart et C. Chevarin 101

Evolution du tissu musculaire de bovin au cours d'un marinage acide
D. Sharedeh, P. Gatellier, T. Astruc, F. Peyrin et J.-D. Daudin 103

Etude des Interactions du Sel et des Hautes Pressions sur la Qualité Technologique de Produits à Base de Viande de Porc.
F. Duranton, D.N. Nguyen, H. Simonin, R. Cheret, S. Guillou, M. Federighi et M. De Lamballerie 105

Emploi du monoxyde de carbone pour le conditionnement d'UVC de boeuf sous atmopshère
I. Legrand et E. Recoules 107

Etude des Pertes en Jus de Muscle Semimembranosus de Boeuf lors d'une Cuisson Humide
S. Oillic, E. Lemoine, J.-B. Gros et A. Kondjoyan 109

Intérêt Technologique de l'Application aux Viandes Hachées de Techniques de Cuisson Alternatives
L. Picgirard et O. Rispal 111

Effet de l'argon sur la couleur des filets de truite arc-en-ciel ayant consommé des caroténoïdes
G. Choubert, F. Brisbare, D. Parfouru et M. Baccaunaud 113

Tri Précoce des Jambons Destructurés - Prévision des Rendements de Fabrication
J.-P. Frencia et E. Parafita 115

Prédiction de Propriétés Physico-Chimiques de Produits Carnés - Approche Thermodynamique
A. Lebert, J.-D. Daudin et C.-G. Dussap 117

Le chitosane : un nouvel antimicrobien/antioxydant pour les produits carnés
C. Saunier, M. Rivollier, P. Michaud et S. Christieans 119

Les oxo-biodégradables : une solution pour le conditionnement des viandes et produits carnés sous atmosphère modifiée
S. Vialter et P. Michon 121

Impact des procédés d'attendrissage et d'injection sur les qualités technologiques de la viande de bœuf
E. Parafita et A. Lapendrie 123

Caractérisation in situ de l'évolution de la structure moléculaire des protéines musculaires au cours du chauffage.
A. Vénien, P. Marinova, V. Santé-Lhoutellier, P. Gatellier et T. Astruc 125

Incidence du marinage de la viande de bœuf sur la cinétique de perte de jus à la cuisson
D. Khalil, J.-D. Daudin et A. Kondjoyan 127

Modélisation du Refroidissement de Charcuteires Cuites de type Pâté
J. Dublanchet, L. Picgirard, J.-D. Daudin et P.-S. Mirade 129

Propriétés moussantes des protéines extraites de poumon de bœuf dans un milieu complexe en batch et en système continu
D. Selmane, C. Vial et G. Djelveh 131

Intérêt d'un malaxage continu ou alternatif post-injection sur les qualités technologiques de la viande de bœuf marinée
E. Parafita et A. Lapendrie 133

Cinétique de réfrigération et qualité de la viande de porc: effets sur l'exsudat, la texture et la fréquence des jambons déstructurés
A. Vautier, E. Gault, T. Lhommeau, A. Le Roux, J.-L. Martin et J.-L. Vendeuvre 135

Effet de l'Alimentation et de la Cuisson sur la Couleur de la Viande de Bœuf
S. Portanguen, A. Lebert, D. Bauchart et A. Kondjoyan 137

Qualités microbiologique et chimique : Conférences invitées

Quelles applications industrielles pour la Microbiologie Prévisionnelle
M. Ellouze 141

Quels Outils Pour Décrire Les Ecosystèmes Bactériens Au Sein D'un Aliment ?
S. Leroy et R. Talon 147

Qualités microbiologique et chimique : Communications

Lactobacillus sakei utilise le fer et ça lui donne du ressort!
P. Duhutrel, C. Bordat, M. Zagorec et M. Champomier-Verges 153

Traitement des carcasses bovines par 'steam vacuum' en cours d'abattage
P. Cartier, L. Allais et C. Malayrat 155

Transfert de la Résistance à la Tétracycline entre Staphylococcus xylosus in carnis
S. Leroy, S. Christieans, J.-P. Chacornac et R. Talon 157

Effet de la présence de cadmium ou de plomb dans l'alimentation du porc sur les teneurs dans les tissus comestibles
E. Royer et N. Lebas 159

Adhérence et adhésion de Campylobacter spp. à la surface d'une matrice carnée
M. Jaÿ, M. Laroche et C. Magras 161

Comparaison des apports de deux méthodes d'analyse des données à l'évaluation de la contamination bactérienne de viandes dans le cas de viandes de gros gibiers sauvages.
J.-M. Membré, M. Laroche et C. Magras 163

RMT 09 : les flores protectrices pour la conservation des aliments : utilisation, efficacité et interactions dans l'écosystème microbien Acronyme : FLOREPRO
M. Rivollier, T. Achi-Barnouin, M. Champomier-Verges, E. Coton, C. Denis, E. Hamon, F. Irlinger, F. Leroi, S. Leroy, M.-C. Montel, M.-F. Pilet, E. Spinnler, V. Stahl, R. Talon, D. Wacogne, M. Zagorec, C. Feurer, E. Jamet et S. Christieans 165

Activité Antilisteria de Pistacia lentiscus et Satureja montana Appliquées sur la Viande bovine: Efficacité et Potentiel de Synergie
D. Djenane, J. Yanguela et P. Roncales 167

Développement d'un modèle tertiaire pour la prédiction de la croissance de Listeria monocytogenes et Salmonella spp. dans la viande hachée de porc
L. Delhalle, Y. Adolphe, A. Jasick, G. Daube et A. Clinquart 169

Incidence du mode de conditionnement sur la durée de vie de la viande de porc en UVCI (Poster N° 1/2)
A. Bozec, V. Zuliani, M. Ellouze et A. Le Roux 171

Incidence du mode de conditionnement sur la durée de vie de la viande de porc en UVCI (poster n° 2/2)
M. Ellouze, V. Zuliani, A. Bozec et A. Le Roux 173

Evaluation de l'Hygiene du Procédé d'Abattage aux Abattoirs de Cotonou-Porto-Novo à l'Aide d'Examen Bacteriologique de Surface
C.F.A. Salifou, S. Salifou, U. Tougan, S. Ahounou et I. Youssao 175

Test ELISA à spectre large pour la détection des fluoroquinolones dans diverses matrices biologiques
S. Enguehard 177

Un dispositif national au service des entreprises et des pouvoirs publics : le réseau mixte technologique (RMT) dédié à l'expertise pour la détermination de la durée de vie microbiologique des aliments.
V. Stahl et C. Denis 179

Tests d'efficacité de l'action curative et préventive de produits de décontamination sur des biofilms de Listeria monocytogenes
E. Quinon, S. Chamot, J. Groelly, P. Chavant, T. Bernardi, M. Desvaux, S. Christieans et M. Hebraud 181

L'influence des résidus de sang des carcasses, sur la qualité hygiénique, technologique et organoleptique de la viande
M. Bourbab et M. Idaomar 183

Evaluation de l'Hygiene du Procede d'Abattage et Impact sur la Qualite Hygienique de la Viande de Poulets Locaux d'Ecotype Sud du Benin.
U. Tougan, C.F.A. Salifou, S. Ahounou, I. Youssao et M. Kpodekon 185

Un spectrofluorimètre portable pour évaluer la qualité microbiologique de la viande bovine
A. Aït Kaddour, T. Boubellouta et I. Chevallier 187

Lutte contre les moisissures indésirérables dans le saucisson sec
P. Fontanille, M.-L. Leroy et C. Larroche 189

Bases biologiques de la qualité & génétique-génomique : Conférences invitées

L'adiposite des carcasses et des viandes a la lumiere des interactions tissus adipeux-muscles au cours de la croissance
M. Bonnet, I. Louveau, B. Picard, F. Gondret, L. Lefaucheur, Y. Chilliard et I. Cassar-Malek 193

A la croisée de la génomique positionnelle et fonctionnelle : Application à l'identification d'une mutation chez le poulet et perspective de recherches en qualité des viandes
E. Le Bihan-Duval, C. Berri, F. Pitel, J. Nadaf, V. Sibut, S. Lagarrigue et M. Duclos 201

Bases biologiques de la qualité & génétique-génomique : Communications

Enquête nationale sur la tendreté de la viande bovine proposée au consommateur français
J. Normand, E. Rubat, C. Evrat-Georgel, F. Turin et C. Denoyelle 211

Construction d'une grille de notation du 'grain de viande' sur animal vivant chez les bovins charolais
M.P. Oury, F. Quillard, Y. Durand, D. Micol et R. Dumont 213

Etat des lieux des problèmes de qualité actuellement rencontrés en abattoirs français.
V. Gigaud, E. Casenave, T. Bordeau, E. Baéza et C. Berri 215

Amélioration Génétique des Poulets Locaux du Bénin par Croisement avec Le Label Rouge (T55*Sa51) : Eff et Hétérosis
I. Youssao, M. Senou, M. Dahoiuda, M. Kpodekon, N.-D. Idrissou, U. Tougan, S. Ahounou, X. Rognon et M. Tixier-Boichard 217

Effets de marqueurs des gènes RORC, Leptine, DGAT1, TG et FABP4 sur le gras de carcasse et de viande dans trois races bovines allaitantes françaises.
S. Allais, H. Levéziel, J.-F. Hocquette, C. Denoyelle, C. Bernard-Capel, L. Journaux et G. Renand 219

Effet du stress pré-abattage sur l'expression des gènes impliqués dans la régulation de la lipoperoxydation dans le muscle de bovin
M. Cherfaoui, D. Gruffat, I. Cassar-Malek, B. Picard, J.-F. Hocquette, A. De La Foye et D. Durand 221

MUSCLON : Développement musculaire des bovins obtenus par clonage somatique
I. Cassar-Malek, B. Picard, A. Listrat, C. Jurie, B. Meunier, A. De La Foye, P. Chavatte-Palmer, M. Guillomot, I. Hue, O. Sandra, X. Vignon et Y. Heyman 223

Sélection génétique sur la réponse au stress et stress à l'abattage: Conséquences sur le protéome musculaire et lien avec la qualité de la chair chez la truite arc-en-ciel
F. Lefèvre, G. Paboeuf, T. Pottinger et J. Bugeon 225

Conception d'un nuancier pour évaluer la couleur de la viande bovine
P. Pierret, F. Cointault, M. Jouanno et J.-N. Paoli 227

Caractéristiques de finition et d'abattage de taurillons Angus, Limousins et Blonds d'Aquitaine
D. Micol, B. Picard, C. Jurie, P. Faure, R. Jailler, S. Rudel, D. Durand, D. Bauchart et J.-F. Hocquette 229

Caractéristiques Métaboliques et Contractiles des muscles de Taurillons Angus, Limousins et Blonds d'Aquitaine
C. Jurie, B. Picard, D. Micol, M. Kammoun, D. Chadeyron et J.-F. Hocquette 231

Mise au point d'équations prédictives de la tendreté de la viande bovine
N. Guillemin, C. Jurie, D. Micol, G. Renand, J.-F. Hocquette et B. Picard 233

Marqueurs biologiques de la tendreté de la viande bovine dans les races Angus, Limousine et Blonde d'Aquitaine
B. Picard, M. Kammoun, C. Jurie, D. Micol, C. Barboiron, J.-F. Hocquette et I. Cassar-Malek 235

Caractéristiques métaboliques et contractiles comparées des muscles LONGISSIMUS THORACIS et SEMITENDINOSUS de bovins
S. Chriki, B. Picard, C. Jurie, M. Reichstadt, D. Micol, J.-P. Brun, L. Journaux et J.-F. Hocquette 237

Réponses trancriptomique et métabolomique du muscle squelettique au stress chez le rat
I. Cassar-Malek, A. De La Foye, B. Picard, G. Gentes, C. Terlouw et X. Fernandez 239

Flaveur Herbacée en viande bovine: une notion bien établie remise en question
J. Messadene et P.-A. Dufey 241

Typage des Fibres Musculaires Bovines sur Coupes Immuno-histologiques par une Méthode Innovante d'Analyse d'Images.
B. Meunier, R. Labas, B. Picard et T. Astruc 243

Développement d'une méthode d'analyse d'images pour la mesure des caractéristiques structurales du muscle bovin.
A. Dubost, B. Meunier, D. Micol, C. Botiaux et A. Listrat 245

CONFERENCE INTRODUCTIVE

ENTRE DISCOURS ET REALITE, LE CONSOMMATEUR DE VIANDE FACE AUX QUESTIONS DE MORT ANIMALE, DE SANTE HUMAINE ET DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

CAZES-VALETTE G.

MANAGEMENT RESEARCH CENTER/Groupe ESC Toulouse
20 Bd. Lascrosses, BP 7010, 31068 Toulouse cedex 7, France

Introduction

Bien que je me reconnaisse parfaitement dans la formule humoristique, « mammifère omnivore », qu'utilise Philippe Meyer sur France Inter pour se présenter et bien que je sois fille et épouse d'éleveurs de bovins viande, je m'efforcerai ici de me garder de la subjectivité. Depuis près de 15 ans, soit dès le déclenchement de la désormais fameuse « crise de la vache folle » en mars 96, je travaille sur les déterminants du rapport à la viande chez le mangeur français contemporain d'un point de vue anthropologique. Observation participante constante, voire obsédante, entretiens au fil de l'eau ou en profondeur, lectures savantes et suivi de la presse grand public, enquête menée fin 2003 auprès de 1000 personnes représentatives des résidents en France continentale de 20 ans et plus sont autant de matériaux qui ont nourri ma thèse (Cazes-Valette, 2008) et nourrissent encore ma réflexion sur ce sujet. C'est à travers l'ensemble de ces données que va être ici traitée la question suivante : problème de la mort animale, souci de la santé humaine, souci de préservation de l'environnement, quels sont et seront les déterminants du comportement alimentaire des Français vis-à-vis de la viande ?
Il faut toutefois préciser que les deux premiers, déjà très présents dans le discours des mangeurs de viande dès 1996, ont fait partie intégrante de ma recherche doctorale ; ils seront donc plus documentés tant du point de vue bibliographique qu'en termes de données. En revanche, le souci de la préservation de l'environnement n'était pas à l'époque un thème fortement relié à la viande ; aussi son rôle comme déterminant de la consommation de viande, qui émerge de plus en plus dans les données de terrain recueillies depuis la publication de ma thèse, sera envisagé ici à titre exploratoire et constitue une direction de recherche à approfondir à l'avenir.

Tuer pour manger de la viande pose problème

Malgré l'attirance naturelle de l'homme pour la viande, nombre de réticences entourent sa consommation et elle suscite même parfois un profond dégoût. Nous allons voir que plusieurs manières de gérer ces réticences peuvent être mises en œuvre par les uns et les autres à travers le choix des mots pour en parler, à travers des stratégies de déculpabilisation diverses, voire en faisant le choix de l'abstention absolue.

Trouver le mot pour dire la mort

Puisque l'homme ne se comporte plus désormais en charognard, ce qui a pu être le cas à ses débuts (Perlès, 1996), manger de la viande suppose au préalable de donner la mort à l'animal dont elle sera issue.

La désignation même de cet acte pose problème en français comme probablement dans d'autres langues. Pour le locuteur ordinaire, le choix du mot révèle clairement, même si inconsciemment, l'opinion qu'il se fait de la chose. Parle-t-il de « tuerie » ? Même si ce terme est employé de manière neutre pour désigner un acte technique dans les abattoirs (Vialles, 1986), dans une bouche contemporaine non-technicienne le mot sonne comme un massacre et est donc connoté très négativement. Parle-t-il de « meurtre alimentaire » ? L'expression est extrêmement violente puisque, le mot « meurtre » désignant théoriquement un homicide, il assimile l'animal à l'humain et signifie, outre sa réprobation, une conception des différences entre espèces qui est loin de la conception majoritaire en France. Parle-t-il de « sacrifice » ? On suppose qu'il fait allusion à un rituel religieux. Parle-t-il d'« abattage » ? D'aucuns y voient une euphémisation de la mort animale (et donc une acceptation implicite) par assimilation au monde végétal puisqu'on abat aussi des arbres (*idem*). Parle-t-il de « mise à mort » ? On le soupçonnera à la fois d'être un amateur de corrida et d'assimiler l'abattage classique à la phase finale de ladite corrida, deux modes opératoires qui n'ont pourtant pas grand chose à voir.

Notre choix est de désigner la mort donnée à l'animal à des fins alimentaires par le mot « abattage ». Il renvoie en effet au mot « abattoir » sur lequel l'unanimité s'est faite et qui, du coup, est relativement neutre, et au mot « abattre » qui signifie « mettre à bas » (que ce soit un arbre, une maison, un animal, voire un homme). Le mot « abattage » n'est donc pas exclusivement réservé au domaine végétal. Certes, on abat aussi des animaux gravement blessés, malades ou présentant des risques de contamination avant de les livrer à l'équarrissage. Pour être parfaitement strict, il faudrait donc utiliser la locution « abattage alimentaire ». Cependant, nous en resterons à l'« abattage » tout court pour ne pas alourdir inutilement le discours.

Rendre l'abattage acceptable

Que notre représentation du monde relève de l'animisme, du totémisme, de l'analogisme, voire du naturalisme à l'Occidentale (Descola, 2005), et donc quel que soit le type de rapport que l'on entretienne avec la nature, priver de vie un animal ne va pas de soi. Manger de la viande non plus, même si l'on n'a pas abattu soi-même l'animal. Dans le contexte français contemporain, diverses stratégies sont déployées, consciemment ou non, pour composer avec la culpabilité, consciente ou non, que cet abattage et cette consommation suscitent.

La première stratégie de déculpabilisation, car la plus ancienne, est d'ordre religieux. L'abattage peut prendre la forme d'un sacrifice, il s'agit alors de la « mise à mort cérémonielle d'un être vivant à des fins posées comme religieuses par les acteurs » (Albert, 1998). La victime est offerte au dieu et la viande n'est qu'un sous-produit du sacrifice en question. Ou il peut s'agir d'un abattage rituel. Il est alors clairement effectué à des fins alimentaires, mais codifié de manière à rendre licite la consommation de la viande qu'il permet d'obtenir. En France se pratique surtout ce second type de « sacralisation » : il s'agit, au moment de l'abattage de l'animal pour les Juifs et les Musulmans de respecter un rite et un mode opératoire particuliers (abattage *casher* pour les premiers, *halal* pour les seconds). Ainsi, la mort donnée à l'animal est mise « sous la tutelle du spirituel et du religieux » (Poulain, 2002), consacrée au dieu, déresponsabilisant et déculpabilisant l'opérateur et ceux qui mangeront ensuite la viande.

La deuxième stratégie de déculpabilisation, plus récente mais plus largement usitée à présent, est la mise à distance qui prend elle-même trois formes.
Elle peut tout d'abord être celle des abattoirs : autrefois l'abattage était effectué par le boucher lui-même, dans son arrière-cour, puis des locaux spécialisés pour cette activité (et pour le premier traitement de la viande - jusqu'à l'état de carcasse - et des sous-produits) ont été implantés dans les faubourgs des villes (Vialles, 1986). Désormais, maîtrise de la conservation et du transport en températures contrôlées aidant, les abattoirs sont implantés près des zones de production plutôt que des zones de consommation, et donc encore plus loin des yeux des mangeurs.
La mise à distance peut aussi passer par celle que prennent les opérateurs de l'abattage par rapport à leur pratique. Noëlie Vialles (1987) a analysé la procédure et magistralement démontré que la séparation des opérations entre deux agents, l'un « anesthésiant » l'animal, l'autre l'égorgeant, permet à chacun de s'imaginer que c'est l'autre qui a tué, ce qui dilue voire déplace la responsabilité.
Enfin, la mise à distance peut être celle du mangeur vis-à-vis du contenu de son assiette. Quatre manières d'y parvenir coexistent. La première est la délégation : même si l'abattage de petits animaux dans le cadre domestique est encore autorisé, rares sont les ménages français qui achètent leurs volailles ou lapins en vif. 40% des répondants à l'enquête de fin 2003 considèrent même cet acte comme anormal alors qu'ils ne sont que 34% à se dire incapables d'assister à un abattage et 14% à considérer l'élevage pour la viande comme anormal (Cazes-Valette, 2008).
La deuxième manière pour le mangeur de se distancier du contenu de son assiette a également été mise en évidence par Noëlie Vialles (1987) : elle distingue en effet les zoophages (mangeurs d'animaux) qui acceptent sereinement de reconnaître dans le morceau de viande qu'ils mangent l'animal dont il est issu, des sarcophages (mangeurs de chair) qui, eux, souhaitent que leur viande n'ait qu'un rapport aussi lointain que possible avec l'animal. De fait, « dans la cuisine moderne, la présentation des mets carnés est telle qu'elle s'éloigne au maximum de l'apparence originelle de l'animal : il semble bien que nous soyons de plus en plus 'sarcophages' » (Fischler, 1993). Le développement des rayons de viande prédécoupée et la disparition des vitrines de boucheries ornées de têtes de veau décorées de persil pourraient s'interpréter comme une réponse inconsciente mais pertinente de la part des professionnels à cette sarcophagie. Car cette attitude touche 33% de notre population d'étude et en aurait touché beaucoup plus probablement si nous avions intégré les moins de 20 ans dans le champ de l'enquête (Cazes-Valette, 2008).
Une troisième manière pour le mangeur de s'éloigner de la source de sa viande relève de l'usage du vocabulaire. En pays anglophones le phénomène est manifeste : « le *sheep* devient *mutton* en arrivant dans l'assiette et le *calf* devient *veal* » (Fishler, 1993). En France, les dénominations des morceaux renvoient à un vocabulaire spécialisé de boucher et non à un vocabulaire anatomique par trop précis quant à leur provenance (gigot et non pas cuisse, bifteck, escalope, macreuse, voire poire ou araignée...). Lors d'un échange à propos de la « vache folle », une répondante a ainsi manifesté la puissante magie protectrice du vocabulaire boucher en nous affirmant : « *que les vaches soient folles, on s'en fiche, puisque nous, on mange du bœuf* » (Cazes-Valette, 2008).
La dernière manière qu'a le mangeur de se distancier du contenu de son assiette est la prise de distance vis-à-vis des animaux d'élevage. Selon Claude Fischler (1993), l'animal élevé à des fins alimentaires serait réduit à l'état de produit de consommation et perdrait son statut d'être vivant : « il y a une désanimalisation industrielle de l'élevage. Dans l'agroalimentaire, l'animal est devenu objet ou moins qu'objet : matière ». Cette réification de l'animal d'élevage se lit dans le discours d'une de nos répondantes où il n'est pas question d'élevages industriels mais bien d'usines : *« c'est vrai que dans les usines, dans les industries… c'est vrai que ils bourrent, ils bourrent,*

il bourrent, […]. Un lièvre ou un chevreuil qui gambade, de le savoir dans mon assiette eh bien ça m'attriste un peu. [...] J'aurais le choix [...], je prendrais peut-être plus le poulet, parce que je sais qu'il sort de l'usine » (Cazes-Valette, 2008).

La troisième et dernière stratégie de déculpabilisation consiste à se préoccuper du bien-être animal. Et il serait faux de lier ce souci aux sociétés d'abondance ou à la sensibilité urbaine puisqu'il remonte à des millénaires et transparaît dans diverses philosophies ou religions : bouddhisme, judaïsme, pythagorisme... (Burgat et Dantzer, 1997).
De nos jours, si les réflexions sur ce sujet ont amené certains à adopter une position éthique radicale, anti « spéciste » et végétarienne, nous le verrons plus tard, un courant différent, nettement plus répandu, ne remet pas en cause le droit des humains à utiliser l'animal mais tente d'en adoucir le sort, en vertu du principe selon lequel celui-ci est un être sensible, capable de souffrir. Ce courant, qualifié de réformiste, « préconise l'amélioration des modes d'élevage, la suppression des longs transports et la garantie d'une réelle insensibilisation avant l'abattage » (*idem*). Une telle position conduit, au contraire de celle des mangeurs qui préfèrent tenir l'animal d'élevage à distance par réification, à préférer consommer des animaux élevés en plein air, supposés avoir joui d'un bien-être supérieur. Cependant, Florence Burgat et Robert Dantzer (1997) émettent quelques doutes sur les motivations réelles des défenseurs du bien-être animal : « c'est peut-être plus le bien-être du consommateur et la représentation qu'il se fait de la 'nature', entendue ici comme la relation entre les vivants, que le sort de l'animal lui-même qui est en jeu » (*idem*). Les récents travaux menés dans sept pays européens dans le cadre du projet *Animal Welfare Quality* dont il ressort que « pour la plupart des personnes interrogées […], le bien-être des animaux représente une question sociale légitime mais ne soulève pas de préoccupations morales plus profondes » (Kjaernes et Lavik, 2007) semblent aller dans ce sens. Et les résultats de l'enquête de 2003 également. En effet, il y apparaît que le niveau de compassion déclaré vis-à-vis des animaux est relativement élevé puisque 60% des répondants obtiennent un score supérieur ou égal au score moyen théorique sur cette variable, mais dans le même temps plus de 98% déclarent manger de la viande et 87,5% l'aimer (Cazes-Valette, 2008). Le souci du bien-être animal n'est donc pas un frein très puissant à la consommation de viande.

Se refuser à manger de la viande

Si la grande majorité des humains, *via* l'une ou l'autre des stratégies ci-dessus, réussit à surmonter le sentiment de culpabilité que provoque le fait de priver de vie un animal à des fins alimentaires, certains n'y parviennent pas et se refusent à ingérer toute viande (végétariens), voire tout produit issu d'un animal (végétaliens). Quels sont les ressorts de ces choix, à l'évidence décalés par rapport à ceux de la majorité, du moins en France, où les véritables végétariens ne seraient que 1,2% (Cazes-Valette, 2008) ?

Le premier ressort, d'ordre philosophique ou religieux, est celui de la non-violence. Ainsi bouddhisme (Wijayaratna, 1993) et hindouisme (Kapani, 1993) n'impliquent pas nécessairement un végétarisme strict mais constituent sans aucun doute des facteurs de modération de la consommation. Cependant, dans l'enquête de fin 2003, aucun des vingt bouddhistes déclarés ne s'est avéré végétarien (Cazes-Valette, 2008). En ce qui concerne les protestants, le seul document identifié sur la question de leur rapport à la nourriture (Kleeman-Rochas, 2005) ne fait état d'aucune prescription d'abstention de viande. Les rares cas de pratiques végétariennes prônées par certaines églises ou sectes protestantes, le sont au nom de la tempérance plutôt que de la non-violence (Levenstein, 1996). Quelle qu'en soit la raison, 2 des 26 protestants de l'enquête se déclaraient végétariens (Cazes-Valette, 2008).

Le deuxième ressort qui motive le choix du végétarisme est la position anti « spéciste ». C'est ainsi qu'argumentent, par exemple, une partie des végétariens suisses qu'a étudiés Laurence Ossipow (1994). Pour eux abattre un animal est un meurtre, et l'usage du mot « meurtre » anthropologise les animaux. Philippe Descola (2005) constate pour sa part qu'en Occident la « subordination des non-humains aux décrets d'une humanité impériale est de plus en plus contestée par des théoriciens de la morale et du droit qui travaillent à l'avènement d'une éthique de l'environnement débarrassée de l'humanisme kantien ». Le présupposé de différence d'intériorité qui définit cette forme d'identification des humains et des non-humains serait remis en cause par une partie de la population qui, en conséquence, se verrait mal abattre puis consommer sa propre espèce ou, du moins, ses proches cousins. Au sein de la communauté catholique, un tel courant, marginal certes, mais réel, existe. En effet, en France, un courant zoophile (au sens premier d'amical avec les animaux) a pris naissance chez certains clercs vers le milieu du XIXème siècle et, depuis les années 1970, « les laïcs se saisissent des théories évolutionnistes et des études d'éthologie pour affirmer le caractère évident d'une continuité des psychismes » entre humains et non-humains (Baratay, 1995). Ce courant, toujours vivace, est allé, en 1982, jusqu'à proposer une pétition au pape Jean-Paul II lui demandant de bien vouloir approuver la Déclaration des religions sur les droits de l'animal (*idem*). Dans la population enquêtée seuls 2 catholiques sur les 395 déclarés étaient végétariens, sans que l'on puisse en connaître les raisons (Cazes-Valette, 2008).

La passionnante enquête ethnologique de Laurence Ossipow (1997) met au jour deux autres ressorts du végétarisme, beaucoup plus surprenants que la non-violence ou l'anti « spécisme », et très éloignés d'eux. Ils relèvent tous deux de ce qu'il est convenu d'appeler la pensée magique et plus précisément du principe de contigüité qui, indéniablement, n'est pas l'apanage des peuples qu'on disait « primitifs » mais bien le lot commun de toute l'humanité (Chiva, 1995).
Le premier est la peur de la mort. Par un raisonnement logique, certains sujets partent du principe que « la viande, c'est du cadavre » et donc « ingérer un aliment carné revient à introduire la mort en soi, à affaiblir son propre corps, à devoir se représenter sa propre mort » (Ossipow, 1994). Et, parallèlement, elle note que ces locuteurs sont de « fervents partisans de toutes les techniques de longévité qu'ils peuvent découvrir » (*idem*).
Le second ressort est celui, pas nécessairement conscient mais apparent dans le discours, du rejet, du mépris, voire de la peur de l'animal : « manger de la viande conduit à transmettre à l'homme les humeurs, le tempérament de l'animal » (*id.*). Or les animaux sont « soumis à leurs instincts et incapables de transcender leurs actes » (*id.*), donc en manger fait courir le risque de « contamination morale, le risque de devenir bestial et de ne plus pouvoir poursuivre un idéal de pureté et de progrès spirituel » (*id.*).
Dans les deux cas, on est loin de la compassion vis-à-vis des animaux.

Enfin, le dernier ressort du refus de manger de la viande est d'ordre psychologique puisqu'il se rencontre dans un des troubles du comportement alimentaire : l'anorexie. La viande, et la viande rouge saignante en particulier, est l'une des premières privations que s'imposent les anorexiques et l'un des derniers aliments qu'ils reprennent après guérison. Il ne s'agit absolument pas ici de compassion vis-à-vis des animaux, même si ce prétexte peut parfois être invoqué par les sujets. Une possible interprétation est que l'anorexique poursuit le projet de maîtrise de son corps (Ascher, 2005), de ce qui en sort, ce qui passe par la maîtrise du sang menstruel et le refus de la féminité dont témoigne de fréquentes aménorrhées, mais également de ce qui y entre. L'hypothèse du refus de la viande parce qu'elle a un lien symbolique avec le sang, que nous avons proposée à un congrès de psychanalystes, pourrait constituer selon eux une direction de recherche intéressante. Cependant, ce cas de figure n'apparaît pas dans notre population d'enquête où les végétariens ont tendance à avoir plutôt un Indice de Masse Corporelle (IMC[1]) normal (Cazes-Valette, 2008).

La santé humaine passe avant celle de la planète

Nous venons de voir que tuer pour manger pose certes problème, mais que cela n'a qu'un impact marginal sur la consommation de viande en France contemporaine. Deux autres déterminants jouent déjà et pourraient jouer plus encore un rôle dans une éventuelle modification des comportements : le souci des mangeurs vis-à-vis de leur santé et le souci de préservation de l'environnement.

Préserver sa forme et ses formes

« Depuis l'Antiquité, la médecine a toujours estimé qu'elle avait un rôle de prescripteur dans le domaine des comportements alimentaires », nous dit Saadi Lahlou (1996) qui, avec un humour un peu acide, suggère que cela tient à ce que « les bien portants représentent peut-être une clientèle plus importante que les malades » (*idem*). Quoi qu'il en soit, l'idée que la nourriture est notre première médecine est depuis longtemps ancrée dans les esprits : elle a sous-tendu la médecine grecque puis médiévale en leurs temps et forme encore le socle de la médecine chinoise contemporaine (Hubert, 1998; Boudan, 2004). Cependant, les préceptes de ces anciennes diététiques reposaient sur des données biologiques désormais dépassées. Les Etats, soucieux de maîtriser la consommation alimentaire en temps de guerre, ou de maîtriser les dépenses de santé, tel le gouvernement français contemporain avec ses PNNS (Programme National Nutrition et Santé), s'appuient sur les connaissances nutritionnelles de leur temps pour tenter d'orienter, *via* des campagnes de propagande, la consommation alimentaire de leurs ressortissants.

Parallèlement à cette pensée médicalisée de l'alimentation, le mangeur, probablement depuis la nuit des temps, a fait le lien entre les formes corporelles (plus ou moins grasses, plus ou moins musclées) et l'absorption qualitative et quantitative de tel ou tel aliment. Toutefois, au gré des époques et des cultures, la conception de l'esthétique féminine dans un premier temps, mais désormais aussi masculine (Corbeau, 1996), varie. Ainsi, en France contemporaine, le corps doit être mince et musclé, après avoir dû être pulpeux puis mince seulement pour les femmes, épanoui puis athlétique pour les hommes (Defrance, 1994).

L'ensemble des injonctions plus ou moins appuyées du corps médical, des gouvernements et de la nébuleuse esthétique, dans laquelle il faudrait au moins inclure les créateurs de mode vestimentaire et les réalisateurs de

[1] L'IMC se calcule en divisant le poids en kilogrammes par le carré de la taille en mètres.

films et séries télévisée, se retrouve dans les médias. Et le mangeur se les approprie ensuite à des degrés divers. « Une partie de ses comportements vise bien à être conforme à l'idée qu'il se fait d'une alimentation saine » nous dit Matthieu Duboys de Labarre (2005), idée qui peut, selon lui, prendre trois formes, éventuellement cumulables chez le même mangeur :

- la recherche d'une harmonie avec la nature au motif que les aliments naturels sont moins nocifs que les aliments industriels pensés comme OCNI (Objets Consommables Non Identifiés) (Fischler, 1993). « Cette posture s'inspire principalement d'un souci pour sa santé, [...] plus secondairement de préoccupations écologiques, voire, pour une minorité, elle s'accompagne d'un point de vue éthique » (Duboys de Labarre, 2005),
- la prévention de la maladie (essentiellement maladies cardio-vasculaires, obésité, cancer et diabète) au motif que l'excès de certains « mauvais aliments » peut intervenir dans leur développement. Dans ce cas « la maladie, la vieillesse et la mort ne sont plus perçues comme une fatalité mais comme un accident provoqué par négligence » (*idem*),
- enfin la recherche de la maîtrise du corps, et en particulier de son poids, liée à des préoccupations esthétiques (*id.*).

L'érection récente (1990) de l'obésité au rang de maladie (Poulain, 2009), alors qu'elle n'était dans nos cultures occidentales qu'une source de disgrâce, a très certainement participé à créer la confusion visible dans la classification qui précède : la minceur devient à la fois un objectif esthétique et sanitaire, l'alibi santé servant souvent de prétexte à ceux qui n'osent avouer leur soumission aux canons de la beauté. Nous constatons d'ailleurs dans l'enquête de 2003 que les niveaux d'intérêt portés aux questions de santé et à celles de beauté sont fortement liés chez les mangeurs et que les deux sont eux-mêmes liés à l'IMC des répondants, les minces voire maigres (IMC inférieur à 18,5) tenant un discours beaucoup plus souvent obsédé par la santé et les corpulents (IMC supérieur à 25) s'avérant beaucoup plus insouciants et de leur santé et de leur beauté (Cazes-Valette, 2008).

En résumé, entre tous les acteurs sociaux (mangeurs, gouvernants, scientifiques de la nutrition, industriels, médias), un large consensus existe sur la nécessité de penser allègement calorique de la prise alimentaire dans les sociétés occidentales. Quant à définir précisément le type d'alimentation idéal, les scientifiques les plus sérieux ne s'y risquent pas, tant la santé, la forme et les formes semblent être des phénomènes multifactoriels dont l'alimentation en quantité et en qualité ne constitue qu'un des aspects (Basdevant, 2004 ; Laplace, 2006).

Quoi qu'il en soit, nous continuons notre « quête perpétuelle de la potion qui mettra fin à tous nos problèmes physiques et psychiques » (Hubert, 1998). Ainsi la « chasse au gras » s'est ouverte dans les années 60 avec l'apparition d'un idéal de minceur filiforme chez les jeunes femmes et a connu un second souffle auprès d'une autre partie de la population, plus âgée et plus masculine, avec la lutte contre le cholestérol dès le début des années 70. Les choses se sont compliquées dans les années 80 avec la découverte du « bon » et du « mauvais » cholestérol et de la nécessité biologique de varier les apports en acides gras (Defrance, 1994). Les discours anti-huile, anti-graisses animales, pro-huile d'olive (régime crétois oblige) et enfin pro-beurre (source de vitamines) alternent allègrement au point que peu de mangeurs savent vraiment ce qui est bon pour eux du point de vue diététique santé. La diététique minceur, elle, proscrit autant que faire se peut tous les types de graisses.

Quant à la viande, d'abord préconisée dans les régimes minceur « steak grillé-haricots verts » des années 70, elle est désignée peu à peu (la viande rouge et le porc, surtout sous forme de charcuterie) comme porteuse de tous les risques (esthétiques et sanitaires) puisqu'elle cumule le fait d'être grasse (gras visible et surtout « gras caché ») et d'être souvent cuite dans la graisse. Depuis les années 90, certains discours tendaient à la réhabiliter, arguant d'une teneur en graisses mieux maîtrisée dans les élevages (pour le porc en particulier) et pas forcément mauvaises (bon cholestérol) et d'un apport en micronutriments divers non négligeable. Mais un nouveau front s'ouvre au début du XXIème siècle : la question du cancer ; et la viande, rouge en particulier, est mise sur la sellette pour son éventuel rôle dans l'apparition de cancers colorectaux (Norat *et al.*, 2005) , ce que d'autres, mais ils sont moins entendus, récusent (Key *et al.*, 2009).

En rajoutant à ces risques nutritionnels perçus ou réels structurels quelques alertes conjoncturelles (à la vache folle, au poulet à la dioxine, à la grippe aviaire puis porcine, etc.), tout donne à penser que le mangeur va se méfier de la viande pour préserver à la fois sa forme et ses formes. De fait, c'est ce que nous constatons : les répondants à l'enquête de 2003 consomment d'autant moins fréquemment de la viande qu'ils sont préoccupés par leur santé et dans une moindre mesure par leur esthétique (Cazes-Valette, 2008). Et cette tendance pourrait encore s'être accentuée depuis 2003 puisqu'il semble que la préoccupation santé dans l'alimentation va croissant. En effet, le Crédoc (Mathé *et al.*, 2008), dans sa dernière enquête sur les comportements et consommations alimentaires des Français (CCAF 2007), voit apparaître pour la première fois (en référence aux

enquêtes CCAF de 1988 et 1995) une frange de 10% de la population qui voit l'alimentation santé comme un problème.

Sauver la planète, un souci encore secondaire

Relativement aux deux thèmes majeurs et finalement assez anciens que sont le problème de la mort animale et le souci de la santé humaine, quelle est, dans l'esprit du mangeur français, la place du souci de préservation de l'environnement comme déterminant de son comportement de consommation de viande ? C'est un point qui n'a hélas pas fait l'objet de questions dans l'enquête de 2003 dans la mesure où il n'était pas encore présent à l'esprit des répondants. Cependant des données d'autres provenances et des observations et entretiens informels menés depuis cette période permettent de commencer à nous éclairer.

Mais il faut tout d'abord rappeler par quels mécanismes la consommation de viande est de plus en plus souvent associée à un risque pour l'environnement. Le problème provient de la convergence de préoccupations démographiques et écologiques récemment portées à la connaissance du grand public. En effet, produire un kilogramme de viande nécessite la consommation d'au moins deux kilogrammes de protéines végétales (pour la volaille, beaucoup plus pour les mammifères), ce qui serait à moyen ou long terme totalement impossible si l'accroissement de la population mondiale s'accompagnait d'un accroissement de sa consommation de viande tendant vers le niveau atteint en Occident (Flamant, 2008). De plus, les élevages, intensifs ou extensifs, sont réputés polluer les nappes phréatiques et, pour les ruminants, contribuer à l'effet de serre par leurs émissions de gaz (F.A.O., 2006). Il semblerait cependant que le débat entre spécialistes soit ouvert quant aux réelles nuisances de l'élevage extensif, témoin, entre autres, le récent numéro des Cahiers Agricultures (Gibon et Ickowicz, 2010).

Quoiqu'il en soit, ce souci de préservation de l'environnement n'a pas encore gagné sur tous les fronts les esprits de la plupart des mangeurs français. S'ils s'inquiètent parfois de la qualité des eaux polluées par les nitrates, c'est plus souvent en relation avec les cultures qu'avec les élevages et ils sont nombreux à considérer avec amusement si ce n'est scepticisme l'impact possible des gaz émis par les ruminants. En revanche, la question des pratiques de l'élevage intensif, déjà soulevée avec la crise de la vache folle, ne les laisse pas indifférents : viande de bœuf ou de veau hormonée, poulets surchargés d'antibiotiques, perspective de clonage des animaux sont autant de thèmes qui inquiètent, non pas tant pour leurs conséquences sur l'environnement mais bien pour celles qu'elles pourraient avoir ou ont déjà sur la santé humaine. Et cette prééminence du souci de la santé sur celui de la préservation de l'environnement peut se lire également dans deux champs alimentaires sur lesquels la recherche auprès des consommateurs a plus de recul : les produits issus de l'agriculture biologique et les organismes génétiquement modifiés (OGM).

En matière de consommation bio, et alors que c'est le seul avantage avéré de l'agriculture biologique, ce n'est que rarement le souci de préservation de la planète qui motive les mangeurs mais bien le souci de leur santé (Sylvander, 1998), surtout depuis la crise de la vache folle qui a vu arriver une nouvelle vague de consommateurs.
De même l'étude des raisons de l'opposition aux fruits et légumes génétiquement modifiés (Merdji et Debucquet, 2006) permet de constater que ce sont les craintes pour la santé humaine qui fondent l'essentiel des objections et pas vraiment le souci de la bio diversité. A l'inverse, les OGM seraient plus facilement tolérés s'ils apportaient des bénéfices pour la santé humaine que s'ils permettaient seulement d'améliorer le revenu des agriculteurs et les pratiques culturales en réduisant les besoins en intrants ou en eau.

Pour conclure et tenter d'anticiper

Problème de la mort animale, souci de la santé humaine, souci de préservation de l'environnement, quels sont et seront donc les déterminants du comportement alimentaire des Français vis-à-vis de la viande ?

Nous avons vu que la compassion envers les animaux, le malaise vis-à-vis de l'abattage et le souci du bien-être animal, même s'ils sont indéniables, n'ont qu'assez peu d'impact sur la consommation de viande tant les stratégies, inconscientes ou non, que le mangeur déploie pour s'en affranchir sont efficaces. Nous savons qu'en revanche, chacun pense plus ou moins à sa santé et éventuellement à son esthétique et que ces deux facteurs convergent vers un allègement calorique en général et une baisse de la fréquence de consommation de viande et de viande rouge en particulier. Pour être encore plus précise dans l'évaluation de la contribution relative de ces deux déterminants potentiels à la compréhension des comportements, une analyse des données de l'enquête de 2003 par équations structurelles a été effectuée et elle est tout à fait concluante. Le coefficient de régression attaché à la préoccupation santé est plus de six fois supérieur à celui de l'acceptation de l'abattage pour expliquer la fréquence de consommation de viande. Même si les obsédés de santé n'étaient au moment de l'enquête que

17% environ dans la population française, ceux qui se disaient concernés par le sujet étaient presque 68% alors que les insouciants n'étaient que 15% (Cazes-Valette, 2008). Et depuis, la médicalisation de l'alimentation n'a fait qu'augmenter son emprise, nous l'avons vu. Il y a fort à parier d'autre part que les critères esthétiques de minceur maintiennent également leur pression normative sur les mangeurs. Ainsi, si la viande est appréciée et encore très fréquemment présente sur les tables françaises, ces éléments permettent de mieux comprendre que sa consommation baisse lentement mais sûrement depuis trois décennies et d'imaginer qu'elle va continuer à le faire à l'avenir.

Quant au souci de préservation de l'environnement, nous avons vu qu'il est encore peu relié à la viande dans l'esprit des mangeurs français. Cependant, s'il est loin de supplanter le souci de la santé humaine, qui est, et demeurera pour longtemps de notre point de vue, le déterminant majeur de la fréquence de consommation de viande, il pourrait bénéficier de celui-ci dans la mesure où préserver sa santé peut dans de nombreux cas passer par la préservation de l'environnement. Dans ce scénario, sa montée progressive, mettant entre autres en cause l'élevage (intensif en particulier), pourrait à moyen ou long terme se surajouter aux arguments nutritionnels, esthétiques et anti « spécistes » pour faire de la consommation de viande une pratique de moins en moins fréquente. Analyser les discours scientifiques et médiatiques sur la préservation de l'environnement, le rôle de l'élevage dans celui-ci et les imbrications éventuelles entre élevage, environnement et santé humaine et étudier leur impact sur les comportements de consommation de viande constitue donc à notre sens une direction de recherche tout à fait passionnante pour les années à venir.

Toutefois, la viande est tellement ancrée dans la culture alimentaire française qu'elle ne saurait disparaître de sitôt de notre registre culinaire. Peut-être, à l'instar des modifications des comportements observées pour le vin au cours du dernier demi-siècle, la raréfaction de la consommation de viande sera-t-elle compensée par l'amélioration de la qualité de celle qui demeurera consommée ? Manger moins, mais meilleur ? Tout un programme qui permettrait aux mangeurs de concilier bonne conscience, plaisir gustatif, diététique santé et diététique minceur, aux éleveurs extensifs de retrouver un équilibre économique et à tous de préserver le bien-être animal et l'environnement.

Références bibliographiques

Albert J.-P., 1998, *Ethnologie française*, tome XXVIII, 197-205.
Ascher F., 2005, *Le mangeur hypermoderne*, Paris: Odile Jacob, 330 p.
Baratay E., 1995, in B. Lizet et G. Ravis-Giordani (dir.), *Des bêtes et des hommes. Le rapport à l'animal : un jeu sur la distance*, Paris: Editions du C.T.H.S., 255-265.
Basdevant A., 2004, in A. Hubert (dir.), *Corps de femmes sous influence. Questionner les normes*, Paris: OCHA, Les Cahiers de l'OCHA n°10, 128-132.
Boudan C., 2004, *Géopolitique du goût : la guerre culinaire*, Paris: PUF, 451 p.
Burgat F. et Dantzer R., 1997, in M. Paillat (dir.), *Le mangeur et l'animal. Mutations de l'élevage et de la consommation*, Paris: Autrement, Série Mutations/Mangeurs, n°172, 69-86.
Cazes-Valette G., 2008, *Les déterminants du rapport à la viande chez le mangeur français contemporain*, Thèse de Doctorat en Anthropologie sociale et ethnologie, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 529p.
Chiva M., 1995, in C. Fischler (dir.), *Manger magique. Aliments sorciers, croyances comestibles*, Paris: Autrement, Série Mutations/Mangeurs, n°149, 51-61.
Corbeau J.-P., 1996, in I. Giachetti (dir.), *Identités des mangeurs. Images des aliments*, Paris: Polytechnica, 175-198.
Defrance A., 1994, *Les Cahiers de l'OCHA,* n°4, 111 p.
Descola P., 2005, *Par-delà nature et culture*, Paris: Gallimard, Bibliothèque des Sciences Humaines, 623 p.
Duboys de Labarre M., 2005, *Le mangeur contemporain : une sociologie de l'alimentation*, Thèse de Doctorat en Sociologie, Université Victor Segalen Bordeaux 2, Bordeaux, novembre 2005, 207 p.
F.A.O., 2006, *Livestock's Long Shadow. Environmental issues and options*, disponible sur http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM, (consulté le 16/08/2010).
Fischler C., 1993, *L'homnivore*, Paris: Odile Jacob, Points, 440 p.
Flamant J.-C., 2008, *Serons-nous bientôt obligés de nous priver de viande ? et même de lait ?*, disponible sur www.agrobiosciences.org/article.php3?id_article=252, (consulté le 15/11/2009).
Gibon A. et Ickowicz A. (éd.), 2010, *Cahiers Agricultures*, Numéro Spécial, Volume 19, Numéro 2, mars-avril 2010.
Hubert A. 1998, *Techniques & culture*, n° 31-32, janvier-décembre 1998, 153-160.
Kapani L., 1993, in J. Delumeau (dir.), *Le fait religieux*, Paris: Fayard, 374-386.
Key T. J *et al,*. 2009, *American Journal of Clinical Nutrition,* 89(suppl), 1S-7S.

Kjaernes U. et Lavik R., 2007, in J.-P. Poulain (dir.), *L'homme, le mangeur, l'animal. Qui nourrit l'autre ?*, Paris: OCHA, Les Cahiers de l'OCHA n°12, 178-196.
Kleeman-Rochas C., 2005, in M. Piarotas (dir.), *Le Populaire à table. Le Boire et le Manger aux XIXeme et XXème siècles*, Saint-Etienne: Publications de l'Université de Saint-Etienne, 311-322.
Lahlou S., 1996, in I. Giachetti (dir.), *Identités des mangeurs. Images des aliments*, Paris: Polytechnica, 123-150.
Laplace J.-P., 2006, *Oui, mais... : réflexions libres d'un nutritionniste à propos des Politiques Nutritionnelles*, 8 p., disponible sur < www.lemangeur-ocha.com>, (consulté le 2 novembre 2006).
Levenstein H. A., 1996, in J.-L. Flandrin et M. Montanari (dir.), *Histoire de l'alimentation*, Paris: Fayard, 843-858.
Mathé T., Pilorin T. et Hébel P., 2008, CREDOC, *Cahier de recherche* n°252, 74 p., disponible sur http://www.credoc.fr/publications/abstract.php?ref=C252, (consulté le 9 septembre 2010).
Merdji M. et Debucquet G., 2006, in G. Cazes-Valette (dir.), *Faire la cuisine. Analyses pluridisciplinaires d'un nouvel espace de modernité.*, Paris: OCHA, Les Cahiers de l'OCHA n°11, 46-55.
Norat T. *et al.,* 2005, *Journal of the National Cancer Institute,* Vol. 97. N° 12, June 15, 2005, 905-916.
Ossipow L., 1994, in C. Fischler (dir.), *Manger magique. Aliments sorciers, croyances comestibles*, Paris: Autrement, Série Mutations/Mangeurs, n°149, 127-135.
Ossipow L., 1997, *La cuisine du corps et de l'âme : approche ethnologique du végétarisme, du crudivorisme et de la macrobiotique en Suisse*, Paris: Maison des Sciences de l'Homme, 341 p.
Perlès C., 1996, in J.-L. Flandrin et M. Montanari (dir.), *Histoire de l'alimentation*, Paris: Fayard, 29-46.
Poulain J.-P., 2002, *Sociologies de l'alimentation*, Paris: PUF, Sciences sociales et société, 286 p.
Poulain J.-P., 2009, *Sociologie de l'obésité*, Paris: PUF, Sciences sociales et société, 360 p.
Sylvander B., 1998, *Le marché des produits biologiques et la demande*, Le Mans: INRA Urequa, 27 p.
Vialles N., 1986, *Milieux*, n°23-24, 1986, 136-138.
Vialles N., 1987, *Le sang et la chair : les abattoirs des pays de l'Adour*, Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'homme, 160 p.
Wijayaratna M., 1993, in J. Delumeau (dir.), *Le fait religieux*, Paris: Fayard, 463-498.

Remerciements

A Fabienne Oriot et Martine Boutary, mes collègues et amies, pour leur relecture stimulante.

VALEUR NUTRITIONNELLE ET VALEUR SANTE

Conférence invitée

Communications

VIANDES ROUGES ET RISQUES DE CANCER DU COLON

PIERRE F, BASTIDE N. et. CORPET D. E.
Université de Toulouse, équipe Prévention et Promotion de la Cancérogenèse par l'Alimentation
Pôle ToxAlim, UMR1089 INRA-ENVT Xénobiotiques,
23 Capelles, Ecole Nationale Vétérinaire, 31076 TOULOUSE, France

Est-il dangereux de manger de la viande ? Les médias, sur la base de récentes publications, disent que la consommation de viande pourrait causer des cancers. Ce lien de causalité est-il démontré, ou alors ne s'agit-il que de suppositions ? Les recommandations officielles actuelles prennent en compte ce risque : afin de réduire le risque de cancer, le rapport 2007 du World Cancer Research Fund (WCRF) faisait la recommandation de limiter la consommation de viande rouge à moins de 300 g par semaine (en moyenne pour la population) et de ne pas consommer de viandes transformées (charcuteries) (WCRF, 2007). Reprenant ce rapport, l'Institut National du Cancer (INCa) recommande aux Français de « Limiter la consommation de viandes rouges à moins de 500 g par semaine. Limiter la consommation de charcuteries, en particulier celle des charcuteries très grasses et/ou très salées. En cas de consommation de charcuteries, afin de diminuer le risque de cancers, il est conseillé de réduire autant que possible la taille des portions et la fréquence de consommation. » (INCa et al., 2009). Cependant l'effet de la viande sur le risque de cancer reste un sujet controversé (Parnaud et al., 1997), que ce chapitre tentera d'éclairer par des données épidémiologiques et expérimentales, récemment développées dans une revue scientifique (Santarelli et al., 2008).

1. Cancer colorectal : études épidémiologiques

La corrélation entre la mortalité par certains cancers et le régime alimentaire est très nette au niveau international : La mortalité due au cancer colorectal est élevée dans les pays occidentaux où l'on consomme beaucoup de viande rouge ; à l'inverse, ce cancer est rare dans les pays pauvres, où l'on consomme peu de viande (WCRF et al., 1997). Mais corrélation n'est pas preuve, et l'hypothèse que la viande rouge favorise le cancer doit être confirmée au niveau individuel. Plus de soixante études publiées rapportent l'association entre la consommation de viande et le risque de cancer colorectal au niveau individuel: Ce sont des études rétrospectives cas-témoin ou des études prospectives de cohorte. Lors d'une étude rétrospective, les gens sont interrogés sur leur consommation alimentaire passée. Les études rétrospectives cas-témoin comparent les réponses de quelques centaines de patients atteints d'un cancer à celles de témoins non cancéreux, appariés. Mais la mesure des aliments consommés plusieurs années auparavant est très peu précise, et il est difficile d'éviter que la maladie ne modifie les souvenirs, biaisant en cela la comparaison des cas et des témoins. Par ailleurs certains résultats changent en fonction du choix des témoins, ce qui fait douter de la validité des conclusions des études rétrospectives. Les études de cohorte sont beaucoup plus longues et coûteuses, mais évitent ces problèmes: plusieurs dizaines de milliers de gens bien-portants (voire plusieurs centaines de milliers comme dans EPIC et Nutrinet-Santé) sont interrogés sur leur régime actuel. La cohorte est alors suivie pendant quinze ou vingt ans, et l'on enregistre l'incidence des maladies qui surviennent. On recherche alors à dégager le lien statistique entre ces maladies et la consommation d'aliments enregistrés quinze ou vingt ans plus tôt.

Ces études épidémiologiques sur le cancer colorectal ne donnent pas toutes le même résultat, mais une étude cas-témoins sur trois, et une étude de cohorte sur cinq, montre un lien significatif entre le risque de cancer colorectal et la consommation de viande rouge (Norat et al., 2001). Ces études montrent aussi, dans les mêmes proportions (respectivement 1/3 et 1/5), une augmentation de risque chez les gros consommateurs de charcuteries.

Afin de quantifier le risque associé à la consommation de viandes, l'ensemble de ces études épidémiologiques a ensuite été regroupé dans deux méta-analyses majeures (Larsson et al., 2006; Norat et al., 2002). Une méta-analyse consiste à regrouper par analyse statistique l'ensemble des résultats de toutes les études épidémiologiques existantes sur un sujet, en excluant celles dont la qualité est jugée insuffisante: le résultat correspond, en théorie, à ce qu'aurait donné une étude unique incluant tous les sujets des études inclues dans la méta-analyse. Le très grand nombre de sujets inclus dans l'analyse peut permettre de montrer qu'un faible risque relatif est toutefois significatif, ou d'étudier des sous-groupes dont l'effectif est habituellement trop petit. La méta-analyse de Norat et al. regroupe 23 études prospectives et rétrospectives, sélectionnées parmi 48 études sur des critères de qualité pré-établis (Norat et al., 2002). En décembre 2006 Larsson et al. ont publié une méta-analyse de 18 études prospectives sélectionnées parmi 23, regroupant au total plus d'un million de participants. Les deux méta-analyses sont relativement indépendantes puisque les sujets déjà inclus dans l'étude de Norat ne représentent que 15% de ceux de l'étude de Larsson (Larsson et al., 2006). Enfin, en novembre 2007 un rapport important a été publié par le WCRF et l'AICR (American Institute for Cancer Research) (WCRF, 2007). Celui-ci présente une méta-analyse dont les résultats sont très proches de ceux de Larsson et qui ne sont donc pas détaillés ici.

À elles deux, ces méta-analyses prennent en compte l'ensemble des études épidémiologiques publiées avant 2006 sur le sujet qui nous intéresse. Elles apportent des conclusions globales et cohérentes pour les différents types de viande : viande totale, viande rouge, charcuteries, volailles.

Un point délicat porte sur la définition de la viande rouge, qui n'est pas exactement la même selon les études. En général, mais pas toujours, les viandes de bœuf, de veau, de mouton, de porc, et les abats, sont regroupées dans la

catégorie "viande rouge". Cette catégorisation ne correspond pas la définition française de la viande rouge qui comprend uniquement le bœuf, l'agneau et la viande chevaline.
Les méta-analyses ne peuvent pas donner plus de précision que les études primaires qu'elles regroupent, ce qui exclue la possibilité d'identifier l'effet d'un type précis de viande. Certaines études distinguent viandes "fraîches" et viandes "transformées" (en France : charcuteries essentiellement): ces deux catégories sont reprises dans les méta-analyses et les résultats sont rapportées ici.
- La consommation totale de viande n'est pas associée au risque de cancer colorectal (Norat et al., 2002).
- Une consommation élevée de viande "rouge" est associée à une augmentation modérée du risque, dans les deux méta-analyses, selon les valeurs rapportées ci-dessous.

= Dans l'étude de Norat (Norat et al., 2002), le risque relatif (RR) d'avoir un cancer colorectal est 1.35 pour le quart des gens qui consomment le plus de viande rouge (charcuteries comprises), soit une augmentation du risque de 35% par comparaison avec la population consommant le moins de viande rouge. L'intervalle de confiance à 95 % (IC95%) va de 1.21 à 1.51, le risque est donc significatif (la valeur "un" n'est pas comprise entre les bornes de l'IC95%). L'excès de risque associé à la consommation de 120 g/j de viande rouge fraîche (charcuterie exclue) est significatif, mais moindre que quand les charcuteries sont comptées dans les viandes rouges (+ 19% au lieu de + 35%) (Norat et al., 2002).

= Dans l'étude de Larsson (Larsson et al., 2006), le RR de cancer colorectal est 1.28 (IC95% 1.15-1.42) pour la catégorie de gens qui consomment le plus de viande rouge (charcuteries comprises). La consommation de viande rouge fraîche (charcuteries exclues) est rapportée dans 9 études sur les 15, et le RR associé de 1.22 est significatif (Larsson et al., 2006). L'excès de risque associé à la consommation de 120 g/j de viande rouge est + 28%. L'analyse de Larsson est moins approfondie que celle de Norat : la relation entre la dose ingérée et le RR n'a pas été calculée pour les viandes rouges fraîches, et certains points restent obscurs (par ex., les catégories). Ces réserves, comme celles qu'on peut faire sur certaines faiblesses des études épidémiologiques originales, ne remettent cependant pas en cause les résultats (Larsson et al., 2006).

- La consommation de charcuteries et de salaisons est associée au risque de cancer colorectal : les RR globaux sont 1.31 (IC95% 1.13-1.51) et 1.20 (IC95% 1.11-1.31) dans les deux études précitées (Larsson et al., 2006; Norat et al., 2002). Par gramme consommé, les charcuteries semblent six fois plus "promotrices" que la viande rouge fraîche dans l'étude de Norat, et deux fois plus dans celle de Larsson.
- La consommation de volailles n'est pas associée au risque de cancer (RR = 1.01 ; IC95% 0.90-1.13), et une consommation élevée de poisson apporte une protection significative (RR = 0.85 ; IC95% 0.75-0.98).
- Le mode de cuisson des viandes et la génétique individuelle ne sont pas pris en compte dans les méta-analyses précitées, malgré le grand nombre d'études ayant abordé ces questions. Pourtant des produits cancérigènes se forment dans la viande portée à plus de 100°C ou cuite sur flamme nue (cf. ci-dessous). Le métabolisme de ces cancérigènes est plus ou moins rapide selon les individus, en fonction de leur génotype pour les cytochromes p450 et les N-acétyl-transférases (Lemarchand et al., 2002). On doit donc considérer que les résultats ci-dessus concernent l'ensemble des viandes consommées, et l'ensemble des consommateurs, dans les conditions réelles.

Norat et al. ont également calculé la proportion de cancers attribuable à la consommation de viande dans différents pays, sous l'hypothèse qu'il y ait effectivement un lien de cause à effet entre viande et cancer. Leur calcul suggère que 25% des cancers colorectaux seraient attribuables aux 168 g de viande rouge que mangent en moyenne les Argentins chaque jour. Ils proposent donc de réduire la consommation de viande rouge, le risque devenant quasi-nul pour moins de 70 g/semaine (Norat et al., 2002).
Ces méta-analyses montrent que la consommation de viande rouge et de charcuteries est associée à une augmentation modérée du risque de cancer colorectal. Les études prospectives publiées après ces méta-analyses ont confirmé leurs conclusions (Santarelli et al., 2008), notamment l'étude des 500 mille Américains de la cohorte NIH-AARP (Cross et al., 2007). Il n'est cependant pas étonnant qu'une majorité d'études épidémiologiques ne trouvent pas un risque significatif. En effet, pour un risque relatif "réel" légèrement supérieur à un, les risques obtenus dans les études de petite taille seront généralement non significatifs. Les études épidémiologiques prises dans leur ensemble suggèrent donc que la consommation de viande rouge et de charcuterie a un effet promoteur, modeste mais réel. Les études expérimentales sur les animaux confirment-elles cet effet, et permettent-elles d'expliquer comment la consommation d'une quantité importante de viandes pourrait promouvoir le cancer ? Nous présentons brièvement ci-dessous les hypothèses mécanistiques pouvant expliquer le lien entre viande et cancer colorectal, puis l'ensemble des études animales, en développant plus particulièrement celles qui ont été réalisées dans notre laboratoire.

2. Viande et cancer colorectal : hypothèses sur les mécanismes

Les hypothèses mécanistiques pouvant expliquer l'effet délétère des viandes rouges et charcuteries sur le cancer mis en évidence par l'épidémiologie sont nombreuses : Des agents promoteurs proviendraient des **graisses** (elles augmentent notamment l'excrétion d'acides biliaires détergents et agressifs dans le côlon) (Bruce, 1987), des **protéines** (fermentées en amines, en phénols ou sulfure d'hydrogène toxiques pour la muqueuse) (Visek et al., 1991), du **fer** (induisant des radicaux libres génotoxiques) (Nelson, 2001), et des **composés N-nitrosés** (NOCs) endogènes dont certains sont cancérigènes (Bingham et al., 1996). Enfin la cuisson de la viande à haute température ou sur flamme nue génère des **amines hétérocycliques** ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes (Sugimura et al., 2004). Les

hypothèses le plus souvent citées portent sur les graisses et les amines hétérocycliques. Or dans des études d'intervention chez l'homme, les régimes maigres ne changent pas l'incidence des tumeurs intestinales, suggérant que les graisses ne sont pas un promoteur majeur (Beresford et al., 2006). De plus, la méta-analyse récente d'Alexander et al. confirme sur plus d'un million et demi de gens que la consommation de graisses animales n'est pas un facteur de risque de cancer (Alexander et al., 2009). Par ailleurs, le poulet grillé qui contient plus d'amines hétérocycliques que les viandes rouges n'est pas associé au risque de cancer (Heddle et al., 2001). Certaines études épidémiologiques récentes recherchent si le risque associé aux amines hétérocycliques ne serait pas modulée par certains polymorphismes. En effet, on a pu montrer que les fumeurs avec une N-acétylase rapide avaient un risque de cancer colorectal associé à la consommation de viandes très cuites accru, par rapport aux « acétyleurs lents » (Lemarchand et al., 2002). Cependant les études de ce type sont décevantes, le plus souvent. Enfin les sources alimentaires majeures d'hydrocarbures aromatiques polycycliques sont les céréales, non les viandes (Phillips, 1999). De façon plus générale, il nous semble qu'aucune de ces hypothèses ne peut clairement expliquer le lien entre consommation de viandes rouges et cancer du côlon.

3. Cancer colorectal : études expérimentales chez des rongeurs

Nous avons répertorié avant 2004 douze études expérimentales de l'effet d'un régime à base de viande rouge chez des rongeurs : aucune n'a montré un effet promoteur d'une viande chez les rongeurs. Au contraire, la consommation de viande protège rats et souris contre la cancérogenèse chimio-induite (Alink et al., 1993; Belobrajdic et al., 2003; Clinton SK, 1979; Kettunen et al., 2003; Lai et al., 1997; McIntosh et al., 1995; Mutanen et al., 2000; Nutter et al., 1983; Parnaud et al., 1998; Pence et al., 1998; Pence et al., 1995; Reddy et al., 1976). Voici un très bref résumé du résultat de ces 12 études :

- McIntosh et al. (McIntosh et al., 1995) montrent que des rats initiés par un cancérigène chimique et recevant des régimes à base de viande de kangourou (23%), de protéine de soja, ou de caséine ont une même incidence tumorale. Clinton et al. (Clinton SK, 1979) trouvent aussi la même incidence de tumeurs coliques chez des rats chimiquement induits, et recevant de la viande de boeuf (20%, crue ou grillée) ou un régime à base de soja.
- Nutter et al. (Nutter et al., 1983) montrent que les protéines de boeuf (46%) protègent significativement des souris chimio-induites, par rapport à des souris témoins nourries de caséine.
- Reddy et al. (Reddy et al., 1976) et Pence et al. (Pence et al., 1995) trouvent que les régimes très riches en protéines, ou en graisses, augmentent l'incidence de tumeur du colon du rat chimio-induits, quelque soit la source des protéines. Mais la viande de boeuf (60% de viande cuite contenant 35% d'eau) protège les rats de façon significative par rapport à la caséine (Pence et al., 1995).
- Pence et al. (Pence et al., 1998) montrent que, comparé à la caséine, la viande bovine très cuite (60%, contenant 35% d'eau et des amines hétérocycliques) diminue le risque de cancer du colon chez des rats chimio-induits, dans un contexte de régime très gras. Le risque est au contraire augmenté en contexte maigre.
- Lai et al. (Lai et al., 1997) montrent qu'un régime contenant 50% de bœuf maigre n'augmente pas l'incidence du cancer chez les rats préalablement initiés par un cancérigènes chimique, par rapport à un régime à base de caséine et équilibré avec du citrate de fer.
- Alink et al. (Alink et al., 1993) trouvent qu'un régime de type "humain" (contenant 25% de viande) provoque plus de cancers du colon chez les rats qu'un régime de type "rongeur" (sans viande). Cependant les résultats d'Alink ne sont pas la preuve d'une promotion spécifique par la viande, car les régimes "rongeurs" sont plus fibreux et moins gras que les régimes "humains".
- Mutanen et al. (Mutanen et al., 2000) observent une petite augmentation du nombre de tumeurs intestinales chez des souris Min (mutées sur *Apc*) consommant un régime contenant 24% de viande bovine. Mais l'effet n'est pas significatif, bien que ce régime "viande" soit cinq fois plus gras que l'aliment des souris témoins.
- Ketunen et al. (Kettunen et al., 2003) au contraire trouvent moins de tumeurs chez les souris Min femelles recevant de la viande de bœuf que chez les témoins.
- Parnaud et al. (Parnaud et al., 1998) ne trouvent pas que la viande bovine grillée (30 ou 60%), ou le bacon, augmentent le nombre ou la taille des foyers de cryptes aberrantes (des lésions précancéreuses), comparée à un régime témoin à base de caséine. De plus, le bacon qui multiplie par 20 l'excrétion fécale de composées N-nitrosés chez le rat, diminue la taille des foyers de cryptes aberrantes : cela suggère que les composés N-nitrosés ne sont pas promoteurs des tumeurs intestinales (Parnaud et al., 2000).
- Belobrajdic et al. (Belobrajdic et al., 2003) enfin trouvent que la viande de kangourou promeut les foyers de cryptes aberrantes par rapport aux protéines du petit-lait, mais celles-ci sont connues pour protéger contre la cancérogenèse, et l'effet de la viande ne dépendait pas de la dose (10, 20 ou 40%).

Cette discordance entre l'épidémiologie et les expérimentations animales est paradoxale : L'épidémiologie suggère que la viande rouge augmente un peu le risque de cancer, mais les expérimentations animales réalisées avant 2003 montrent un effet protecteur des viandes. Comment expliquer cette discordance ?

Ceci nous a conduit à explorer depuis 2003 une hypothèse nouvelle résumée dans la figure et qui semble confirmée depuis par l'épidémiologie (Larsson et al., 2005; Lee et al., 2004) : Le *fer héminique*, abondant dans les viandes rouges, mais presque absent des viandes blanches, serait un agent important de la promotion tumorale. Sesink *et al.,* avaient montré en

1999 que l'hémine (hème chloré) induit à court terme une hyperprolifération des cellules épithéliales du colon du rat (Sesink et al., 1999). Nos études chez des rats initiés par un cancérigène montrent clairement que la viande bœuf est promotrice des stades précoces de la cancérogenèse colique, dans un régime pauvre en calcium (Pierre et al., 2004). L'effet promoteur dépend de la teneur du régime en hème. Ainsi, si l'on compare, les effets de rations alimentaires composées à 60 % de boudin noir, de bœuf ou de blanc de poulet, le boudin noir est plus promoteur que la viande de bœuf, elle-même plus promotrice que le "blanc" de poulet (Pierre et al., 2004). Le fer est cependant un nutriment souvent limitant dans beaucoup de populations humaines, et il est particulièrement bien absorbé sous sa forme héminique. Par quel mécanisme ce nutriment indispensable peut-il favoriser le cancer ? Nous pensons actuellement que l'hème pourrait agir par deux mécanismes indépendants : la voie des aldéhydes et la voie des NOCs (Fig.1).

- Pour la voie des aldéhydes, Sawa *et al.* avaient monté *in vitro* qu'un mélange d'hémoglobine et d'acides gras poly-insaturés oxydés était suffisant pour induire la formation non-enzymatique de radicaux peroxyls (Sawa et al., 1998). Dans nos études chez le rat, la promotion de la cancérogenèse par l'hème est associée à un biomarqueur de peroxidation lipidique (le DHN-MA) que l'on trouve dans l'urine des rats (Pierre et al., 2004). L'excrétion urinaire du DHN-MA est augmentée significativement aussi dans l'urine de volontaires mangeant du boudin noir, très riche en hème (Pierre et al., 2006). Les principaux aldéhydes issus de la lipopéroxydations sont le malondialdehyde (MDA) et le 4-hydroxynonenal (4-HNE) (Marnett, 2000). Le MDA est mutagène, et forme des adduits à l'ADN. Cependant, le mécanisme de la promotion semble venir principalement d'une résistance sélective des cellules précancéreuses à la peroxidation lipidique induite par l'hème: le 4-HNE induit la mort cellulaire (apoptose) des cellules normales mais pas des cellules mutées sur le gène Apc (Pierre et al., 2007).
- La voie des NOCs prédomine clairement lors de la consommation de charcuteries nitritées : Chez le rat, l'effet promoteur des charcuteries passe par la formation de composés N-nitrosés (Santarelli et al., 2010). Mais cette voie n'est pas limitée aux charcuteries ou aux rongeurs : Bingham et al. ont montré chez des volontaires qu'un régime riche en viande rouge (600 g/j vs. 60 g/j) conduisait à une excrétion importante de NOCs dans les selles (Bingham et al., 1996). Cette formation endogène de NOCs est spécifiquement due à l'hème (Cross et al., 2003). Les NOCs sont des composés alkylants, et leur présence entraîne la formation d'adduits mutagènes spécifiques dans les cellules de la muqueuse colique (Lewin et al., 2006).

Ces effets délétères des viandes et charcuteries peuvent être inhibé par des nutriments protecteurs, au premier rang desquels se trouve le calcium, qui piège l'hème au niveau de la lumière intestinale (fig.1). Nous avons montré que l'effet promoteur de l'hémine chez le rat était complètement inhibé par un apport important de calcium et de certains antioxydants dans l'alimentation (Pierre et al., 2003). Un supplément de calcium annulait l'effet promoteur de la viande bovine, le carbonate de calcium étant plus efficace que le phosphate de calcium (Pierre et al., 2008) (Allam et al., 2010, manuscrit en préparation). Cette hypothèse permet d'expliquer pourquoi aucune étude animale publiée avant 2004 n'avait pu démontrer l'effet promoteur de la viande rouge : les régimes contenant beaucoup de calcium, cela bloquait l'hème dans la phase insoluble du contenu intestinal, ce qui explique les résultats négatifs de ces études. Par ailleurs, De Vogel et al ont montré que la chlorophylle inhibait l'effet promoteur de l'hème (de Vogel et al., 2005). Notre équipe continue à explorer les effets inhibiteurs de nutriments et de microconstituants végétaux sur la lipoperoxidation et la N-nitrosation, pour pouvoir prévenir les effet délétères des viandes soit par l'ajout d'additifs dans les produits carnés, soit par la recommandations d'associer certains aliments protecteurs à la consommation de viande.

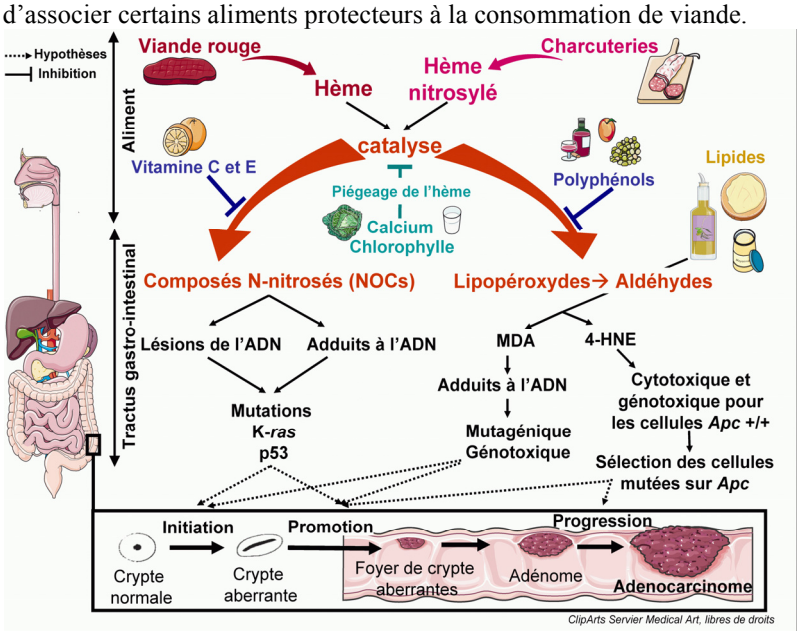


Figure 1 : Mécanismes potentiels par lesquels l'hème de la viande favorise la cancérogenèse intestinale.
L'hème apporté par la viande rouge, en partie nitrosylé par les nitrites de la salive et l'hème nitrosylé des charcuteries catalysent la formation de composés pro-cancérogènes : les composés N-nitrosés (NOCs) et les produits terminaux de la

peroxydation des lipides alimentaires (aldéhydes). Certains NOC sont mutagènes et favorisent la formation d'adduits à l'ADN. Les aldéhydes formés, malondialdéhyde (MDA), et 4-hydroxynonenal (HNE) sont mutagènes ou sélectionnent les cellules précancéreuses mutées sur Apc, ce qui promeut les tumeurs. Ces phénomènes toxiques peuvent être inhibés par le calcium ou la chlorophylle des aliments, qui piègent l'hème dans l'intestin, et par des vitamines et des polyphénols antioxydants et/ou antinitrosants. Ces inhibiteurs pourraient participer à la prévention des cancers par l'alimentation.

4. Autres cancers et viande

Après le cancer colorectal, les causes majeures de mortalité en France sont les cancers du sein (femmes), de la prostate (hommes) et du poumon (hommes fumeurs).
Pour les cancers du sein, une méta-analyse des études de cohorte ne montre pas de lien net entre la consommation de viandes et le risque de cancer (Missmer et al., 2002), même si le risque est significatif dans certaines cohortes avec un effet très net des charcuteries (Taylor et al., 2007).
Quelques études suggèrent que la consommation de viande pourrait augmenter le risque de cancer de la prostate, mais l'excès de risque est faible (+10%) et vient peut-être uniquement des graisses saturées.
Le suivi des 500 mille Américains de la cohorte NIH-AARP montre un excès de risque de cancers du foie (+61%), de l'œsophage (+51%), du côlorectum (+24%) et du poumon (+20%), chez ceux qui mangent le plus de viande rouge, les cancers du côlon et du poumon étant favorisés également par les charcuteries (Cross et al., 2007, PLoS). La consommation de viandes est nettement associée avec le risque de cancer de l'estomac dans plusieurs études, les résultats les plus convaincants venant de l'étude EPIC (Gonzalez et al., 2006) dans laquelle la consommation totale de viande est associée à un RR de 3.5 (IC95% 2-6). Les cancers du pancréas sont associés à la consommation de grandes quantités de viandes, et de charcuteries, dans des études de cohorte japonaise et américaines, avec des RR entre 2 et 3 pour la viande, et 1,5 et 2 pour les charcuteries. Concernant les autres types de cancer, les résultats épidémiologiques sont trop inconsistants pour permettre des recommandations.

5. Discussion et conclusion :

Une consommation importante de viande rouge semble augmenter modérément le risque de cancer colorectal, selon les études épidémiologiques. Les recommandations au niveau international sont donc de limiter la consommation des viandes rouges, sans que les quantités maximales conseillées (300 g par semaine au niveau d'une population, et 500 g/semaine pour un adulte) ne soient bien étayées. Ces conseils, basés sur des données internationales, s'appliquent-ils en France ?

La consommation des viandes rouges n'est pas plus faible en France qu'ailleurs : ainsi les françaises de l'étude EPIC consomment en moyenne 76 g/j de viande rouge (charcuterie comprise), ce qui est supérieur à 69 g/j, médiane des 23 centres EPIC répartis en Europe (Norat et al., 2005). La consommation moyenne des français adultes en 1999 était estimée à 63 g/j de viande "rouge" fraîche et 38 g/j de charcuterie (Volatier et al., 2006). Dans l'étude INCA2 (AFSSA, 2007), publiée en 2007, la moyenne de consommation de viandes rouges chez les adultes vivant en France est de 370 g par semaine, soit 53 g par jour. Elle est plus importante chez les hommes (460 g par semaine) que chez les femmes (285 g par semaine). Un quart de la population consomme plus de viande que ce que recommande le rapport du WCRF/AICR, soit au moins 500 g de viandes rouges par semaine : 39 % des hommes et 13 % des femmes. La consommation moyenne de charcuteries est de 270 g par semaine, soit 38 g par jour. Les hommes consomment en moyenne 330 g par semaine, les femmes 215 g. Plus d'un quart de la population française adulte consomme au moins 50 g de charcuteries par jour. Par ailleurs, le risque relatif par gramme de viande semble similaire dans les études Européennes et les études Américaines (Larsson et al., 2006). On ne peut donc incriminer les viandes américaines, pourtant nettement plus grasses que les nôtres (races bovines différentes, élevage sans herbe ni foin), ni disculper les viandes bovines françaises, souvent plus maigres, et contenant des acides gras oméga-3 pour les animaux élevés à l'herbe (Marmer et al., 1984). En utilisant les effets globaux calculés dans les méta-analyses de Norat et al. (Norat et al., 2002) et du rapport WCRF/AICR (2007), le quart de la population adulte française qui consomme plus de 500g de viande rouge par semaine verrait son risque de cancer augmenter au moins de 30%. De la même façon, on peut estimer que risque de cancer colorectal augmente au moins de 20% pour le quart des Français qui mangent plus de 50g de charcuteries par jour. L'effet ainsi estimé peut sembler modeste, mais si on les rapporte à la centaine de nouveaux cas de cancer colorectal par jour en France, ces pourcentages pourraient correspondre à une dizaine de personnes tous les jours.

Il est intéressant de comparer ces risques à ceux d'autres comportements alimentaires, comme celui de manger des fibres alimentaires, dont l'effet protecteur est controversé. La consommation de 30 g/j de fibre est associée à un RR de 0.7 dans l'étude EPIC, soit une diminution du risque de cancer colorectal de 30% par comparaison avec la population consommant 15g de fibres par jour (Bingham et al., 2003). Le risque associé à la consommation des viandes rouges en France semble donc du même ordre de grandeur que le risque associé au manque de fibres. L'augmentation du risque pour un type d'aliment donné ne peut être envisagée qu'en fonction des consommations des autres aliments et il est difficile dans les différentes études d'isoler chaque composant du régime alimentaire. On peut cependant penser que les gros consommateurs de viande ou de charcuterie sont souvent des individus qui mangent peu de fibres. Ces risques

"alimentaires" sont, par ailleurs, sans commune mesure avec des dangers bien établis comme celui du tabagisme (risque relatif de cancer du poumon de l'ordre de 10 à 20 selon le niveau et la durée de tabagie soit 100 à 200% d'augmentation du risque), mais représentent toutefois un potentiel de prévention important vu la grande incidence du cancer colorectal.

Enfin, ces risques relatifs sont établis à partir des résultats d'études épidémiologiques, c'est à dire des études d'observation. Celles-ci ne permettent pas de *prouver* l'effet d'un aliment, car on ne peut éliminer tous les facteurs de confusion interférents. Tant que la preuve qu'un aliment cause (ou empêche) une maladie n'a pas été donnée par une expérimentation directe, on doit rester prudent sur les recommandations. C'est ainsi que l'effet protecteur du béta-carotène sur les cancers épithéliaux semblait quasi-certain d'après les études épidémiologiques convergentes, mais que les grandes études d'intervention CARET et ATBC ont démontré l'effet contraire chez les fumeurs. Il serait cependant impossible, pour des raisons éthiques, de mettre en place un essai clinique pour montrer que la consommation de viande rouge est la cause de certains cancers. L'effet de l'arrêt de la consommation de viande serait acceptable éthiquement, mais bien difficile à réaliser d'une façon randomisée, en double aveugle, contre placebo. La seule solution d'expérimenter chez l'homme dans ce domaine semble de tester l'effet d'un supplément alimentaire qui bloque un mécanisme de la promotion tumorale par la viande (par exemple un supplément quotidien de carbonate de calcium qui bloquerait l'hème de la viande dans l'intestin).

En conclusion, les études d'observation montrent clairement que ceux qui consomment le plus de charcuteries et de viande rouge (bovine essentiellement) voient leur risque du cancer du colon augmenter légèrement (20 à 30%). D'après les données de consommation des Français, il semble que l'effet des charcuteries soit équivalent à celui de la viande bovine. Les recommandations actuelles de l'INCa semblent donc justifiées (INCa et al., 2009), mais pourraient évoluer grâce à nos recherches. Nos études de cancérogenèse chez les rongeurs montrent que l'effet promoteur de la viande rouge est largement dû au fer héminique. Comme cet effet délétère est inhibé chez le rat par le calcium apporté par le régime alimentaire, cela permet de supposer qu'il suffirait de manger un aliment riche en calcium (produit laitier par exemple) au cours des repas carnés pour annuler leur effet promoteur. Cependant ceci reste à démontrer chez l'Homme.

.

Références

AFSSA, 2007. INCA2, Etude individuelle nationale des consommations alimentaires 2006-2007. Consommation alimentaire des Français. . Afssa, Maisons-Alfort, 2007.

Alexander D.D., Cushing C.A., Lowe K.A., Sceurman B., Roberts M.A., 2009. Meta-analysis of animal fat or animal protein intake and colorectal cancer. Am J Clin Nutr, 89, 1402-9.

Alink G.M., Kuiper H.A., Hollanders V.M.H., Koeman J.H., 1993. Effect of heat processing and of vegetables and fruit in human diets on 1,2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats. Carcinogenesis, 14, 519-524.

Belobrajdic D.P., Mcintosh G.H., Owens J.A., 2003. Whey proteins protect more than red meat against azoxymethane induced ACF in wistar rats. Cancer Letters, 198, 43-51.

Beresford S.A., Johnson K.C., Ritenbaugh C., Lasser N.L., Snetselaar L.G., Black H.R., Anderson G.L., Assaf A.R., Bassford T., Bowen D., Brunner R.L., Brzyski R.G., Caan B., Chlebowski R.T., Gass M., Harrigan R.C., Hays J., Heber D., Heiss G., Hendrix S.L., Howard B.V., Hsia J., Hubbell F.A., Jackson R.D., Kotchen J.M., Kuller L.H., LaCroix A.Z., Lane D.S., Langer R.D., Lewis C.E., Manson J.E., Margolis K.L., Mossavar-Rahmani Y., Ockene J.K., Parker L.M., Perri M.G., Phillips L., Prentice R.L., Robbins J., Rossouw J.E., Sarto G.E., Stefanick M.L., Van Horn L., Vitolins M.Z., Wactawski-Wende J., Wallace R.B., Whitlock E., 2006. Low-fat dietary pattern and risk of colorectal cancer: the Women's Health Initiative Randomized Controlled Dietary Modification Trial. Jama, 295 (6), 643-54.

Bingham S.A., Pignatelli B., Pollock J.R.A., Ellul A., Malaveille C., Gross G., Runswick S., Cummings J.H., Oneill I.K., 1996. Does increased endogenous formation of N-nitroso compounds in the human colon explain the association between red meat and colon cancer? Carcinogenesis, 17, 515-523.

Bingham S.A., Day N.E., Luben R., Ferrari P., Slimani N., Norat T., Clavelchapelon F., Kesse E., Nieters A., Boeing H., Tjonneland A., Overvad K., Martinez C., Dorronsoro M., Gonzalez C.A., Key T.J., Trichopoulou A., Naska A., Vineis P., Tumino R., Krogh V., Buenodemesquita H.B., Peeters P.H.M., Berglund G., Hallmans G., Lund E., Skeie G., Kaaks R., Riboli E., 2003. Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the european prospective investigation into cancer and nutrition (EPIC): an observational study. Lancet, 361, 1496-1501.

Bruce W.R., 1987. Recent hypotheses for the origin of colon cancer. Cancer Res, 47, 4237-4242.

Clinton SK D.R., Anderson DB, Truex CR, Imrey PB, Visek WJ, 1979. 1,2-dimethylhydrazine induced intestinal cancer in rats fed beef or soybean protein. Nutrition reports international, 20, 335-342.

Cross A.J., Pollock J.R.A., Bingham S.A., 2003. Haem, not protein or inorganic iron, is responsible for endogenous intestinal n-nitrosation arising from red meat. Cancer Research, 63, 2358-2360.

Cross A.J., Leitzmann M.F., Gail M.H., Hollenbeck A.R., Schatzkin A., Sinha R., 2007. A prospective study of red and processed meat intake in relation to cancer risk. PLoS Med, 4, 325.

de Vogel J., Jonker-Termont D.S., Katan M.B., van der Meer R., 2005. Natural chlorophyll but not chlorophyllin prevents heme-induced cytotoxic and hyperproliferative effects in rat colon. J Nutr, 135, 1995-2000.

Gonzalez C.A., Jakszyn P., Pera G., Agudo A., Bingham S., Palli D., Ferrari P., Boeing H., del Giudice G., Plebani M., Carneiro F., Nesi G., Berrino F., Sacerdote C., Tumino R., Panico S., Berglund G., Siman H., Nyren O., Hallmans G., Martinez C., Dorronsoro M., Barricarte A., Navarro C., Quiros J.R., Allen N., Key T.J., Day N.E., Linseisen J., Nagel

G., Bergmann M.M., Overvad K., Jensen M.K., Tjonneland A., Olsen A., Bueno-de-Mesquita H.B., Ocke M., Peeters P.H., Numans M.E., Clavel-Chapelon F., Boutron-Ruault M.C., Trichopoulou A., Psaltopoulou T., Roukos D., Lund E., Hemon B., Kaaks R., Norat T., Riboli E., 2006. Meat intake and risk of stomach and esophageal adenocarcinoma within the European Prospective Investigation Into Cancer and Nutrition (EPIC). J Natl Cancer Inst, 98, 345-54.

Heddle J.A., Knize M.G., Dawod D., Zhang X.B., 2001. A test of the mutagenicity of cooked meats in vivo. Mutagenesis, 16, 103-107.

INCa, NACRe, Afssa, 2009. Nutrition et Cancers : des connaissances scientifiques aux recommandations. INCa Report.

Kettunen H.L., Kettunen A.S.L., Rautonen N.E., 2003. Intestinal immune responses in wild-type and apc(min/+) mouse, a model for colon cancer. Cancer Research, 63, 5136-5142.

Lai C., Dunn D.M., Miller M.F., Pence B.C., 1997. Non-promoting effects of iron from beef in the rat colon carcinogenesis model. Cancer Letters, 112, 87-91.

Larsson S.C., Wolk A., 2006. Meat consumption and risk of colorectal cancer: a meta-analysis of prospective studies. Int J Cancer, 119, 2657-64.

Larsson S.C., Rafter J., Holmberg L., Bergkvist L., Wolk A., 2005. Red meat consumption and risk of cancers of the proximal colon, distal colon and rectum: the Swedish Mammography Cohort. Int J Cancer, 113, 829-34.

Lee D.H., Anderson K.E., Harnack L.J., Folsom A.R., Jacobs D.R., Jr., 2004. Heme iron, zinc, alcohol consumption, and colon cancer: Iowa Women's Health Study. J Natl Cancer Inst, 96, 403-7.

Lemarchand L., Donlon T., Seifried A., Wilkens L.R., 2002. Red meat intake, CYP2e1 genetic polymorphisms, and colorectal cancer risk. Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention, 11, 1019-1024.

Lewin M.H., Bailey N., Bandaletova T., Bowman R., Cross A.J., Pollock J., Shuker D.E., Bingham S.A., 2006. Red meat enhances the colonic formation of the DNA adduct O6-carboxymethyl guanine: implications for colorectal cancer risk. Cancer Res, 66, 1859-65.

Marmer W.N., Maxwell R.J., Williams J.E., 1984. Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. J. Anim. Sci., 59, 109-121.

Marnett L.J., 2000. Oxyradicals and DNA damage. Carcinogenesis, 21, 361-70.

McIntosh G.H., Regester G.O., Leleu R.K., Royle P.J., Smithers G.W., 1995. Dairy proteins protect against dimethylhydrazine-induced intestinal cancers in rats. Journal of Nutrition, 125, 809-816.

Missmer S.A., Smithwarner S.A., Spiegelman D., Yaun S.S., Adami H.O., Beeson W.L., Vandenbrandt P.A., Fraser G.E., Freudenheim J.L., Goldbohm R.A., Graham S., Kushi L.H., Miller A.B., Potter J.D., Rohan T.E., Speizer F.E., Toniolo P., Willett W.C., Wolk A., Zeleniuchjacquotte A., Hunter D.J., 2002. Meat and dairy food consumption and breast cancer: a pooled analysis of cohort studies. International Journal of Epidemiology, 31, 78-85.

Mutanen M., Pajari A.M., Oikarinen S.I., 2000. Beef induces and rye bran prevents the formation of intestinal polyps in apc(min) mice: relation to beta-catenin and PKC isozymes. Carcinogenesis, 21, 1167-1173.

Nelson R.L., 2001. Iron and colorectal cancer risk: human studies. Nutrition Reviews, 59, 140-148.

Norat T., Riboli E., 2001. Meat consumption and colorectal cancer: a review of epidemiologic evidence. Nutrition Reviews, 59, 37-47.

Norat T., Lukanova A., Ferrari P., Riboli E., 2002. Meat consumption and colorectal cancer risk: dose-response meta-analysis of epidemiological studies. International Journal of Cancer, 98, 241-256.

Norat T., Bingham S., Ferrari P., Slimani N., Jenab M., Mazuir M., Overvad K., Olsen A., Tjonneland A., Clavel F., Boutron-Ruault M.C., Kesse E., Boeing H., Bergmann M.M., Nieters A., Linseisen J., Trichopoulou A., Trichopoulos D., Tountas Y., Berrino F., Palli D., Panico S., Tumino R., Vineis P., Bueno-de-Mesquita H.B., Peeters P.H., Engeset D., Lund E., Skeie G., Ardanaz E., Gonzalez C., Navarro C., Quiros J.R., Sanchez M.J., Berglund G., Mattisson I., Hallmans G., Palmqvist R., Day N.E., Khaw K.T., Key T.J., San Joaquin M., Hemon B., Saracci R., Kaaks R., Riboli E., 2005. Meat, fish, and colorectal cancer risk: the European Prospective Investigation into cancer and nutrition. J Natl Cancer Inst, 97, 906-16.

Nutter R.L., Gridley D.S., Kettering J.D., Goude A.G., Slater J.M., 1983. BALB/c mice fed milk or beef protein: differences in response to 1,2-dimethylhydrazine carcinogenesis. J Natl Cancer Inst, 71, 867-874.

Parnaud G., Corpet D.E., 1997. Colorectal cancer: controversial role of meat consumption. Bulletin du Cancer, 84, 899-911.

Parnaud G., Peiffer G., Tache S., Corpet D.E., 1998. Effect of meat (beef, chicken, and bacon) on rat colon carcinogenesis. Nutrition and Cancer, 32, 165-173.

Parnaud G., Pignatelli B., Peiffer G., Tache S., Corpet D.E., 2000. Endogenous N-nitroso compounds, and their precursors, present in bacon, do not initiate or promote aberrant crypt foci in the colon of rats. Nutrition and Cancer, 38, 74-80.

Pence B.C., Landers M., Dunn D.M., Shen C.L., Miller M.F., 1998. Feeding of a well-cooked beef diet containing a high heterocyclic amine content enhances colon and stomach carcinogenesis in 1,2-dimethylhydrazine-treated rats. Nutrition and Cancer, 30, 220-226.

Pence B.C., Butler M.J., Dunn D.M., Miller M.F., Zhao C., Landers M., 1995. Non-promoting effects of lean beef in the rat colon carcinogenesis model. Carcinogenesis, 16, 1157-1160.

Phillips D.H., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the diet. Mutat Res, 443, 139-47.

Pierre F., Tache S., Petit C.R., Van der Meer R., Corpet D.E., 2003. Meat and cancer: haemoglobin and haemin in a low-calcium diet promote colorectal carcinogenesis at the aberrant crypt stage in rats. Carcinogenesis, 24, 1683-90.

Pierre F., Freeman A., Tache S., Van der Meer R., Corpet D.E., 2004. Beef meat and blood sausage promote the formation of azoxymethane-induced mucin-depleted foci and aberrant crypt foci in rat colons. Journal of Nutrition, 134 , 2711-2716.
Pierre F., Santarelli R., Tache S., Gueraud F., Corpet D.E., 2008. Beef meat promotion of dimethylhydrazine-induced colorectal carcinogenesis biomarkers is suppressed by dietary calcium. Br J Nutr, 99, 1000-6.
Pierre F., Tache S., Gueraud F., Rerole A.L., Jourdan M.L., Petit C., 2007. Apc mutation induces resistance of colonic cells to lipoperoxide-triggered apoptosis induced by faecal water from haem-fed rats. Carcinogenesis, 28, 321-7.
Pierre F., Peiro G., Tache S., Cross A.J., Bingham S.A., Gasc N., Gottardi G., Corpet D.E., Gueraud F., 2006. New marker of colon cancer risk associated with heme intake: 1,4-dihydroxynonane mercapturic Acid. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 15, 2274-9.
Reddy B.S., Narisawa T., Weisburger J.H., 1976. Effect of a diet with high levels of protein and fat on colon carcinogenesis in F344 rats treated with 1,2-dimethylhydrazine. J Natl Cancer Int, 57, 567-569.
Santarelli R.L., Pierre F., Corpet D.E., 2008. Processed meat and colorectal cancer: a review of epidemiologic and experimental evidence. Nutr Cancer, 60, 131-44.
Santarelli R.L., Vendeuvre J.L., Naud N., Taché S., Guéraud F., Viau M., Genot C., Corpet D.E., Pierre F.H.F., 2010. Meat processing and colon carcinogenesis: Cooked, nitrite-treated and oxidized high-heme cured meat promotes mucin depleted foci in rats. Cancer Prevention Research, 3:852-64.
Sawa T., Akaike T., Kida K., Fukushima Y., Takagi K., Maeda H., 1998. Lipid peroxyl radicals from oxidized oils and heme-iron: implication of a high-fat diet in colon carcinogenesis. Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention, 7 , 1007-1012.
Sesink A.L.A., Termont D.S.M.L., Kleibeuker J.H., Vandermeer R., 1999. Red meat and colon cancer: the cytotoxic and hyperproliferative effects of dietary heme. Cancer Research, 59 , 5704-5709.
Sugimura T., Wakabayashi K., Nakagama H., Nagao M., 2004. Heterocyclic amines: Mutagens/carcinogens produced during cooking of meat and fish. Cancer Sci, 95, 290-9.
Taylor E.F., Burley V.J., Greenwood D.C., Cade J.E., 2007. Meat consumption and risk of breast cancer in the UK Women's Cohort Study. Br J Cancer, 96, 1139-46.
Visek W.J., Clinton S.K., 1991. Dietary Protein and Cancer. Cancer and Nutrition, 7, 103-124.
Volatier J.L., Dufour A., 2006. La place de la viande et des produits à base de viande comme aliments-vecteurs dans les apports nutritionnels de la population française. JSMTV, Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 4-5 octobre 2006, Clermont-Ferrand, 11, 55-60.
WCRF, AICR, Potter J.D., 1997. Food, Nutrition and the prevention of cancer: a global perspective. Washington, DC: World Cancer Research Fund and American Institute for Cancer Research.
WCRF W.C.R.F., 2007. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. WCRF and American Institute for Cancer Research, Washington DC, 1-537.

VALEUR NUTRITIONNELLE ET VALEUR SANTE

Conférence invitée

Communications

PARAMETRES DE DIGESTION *IN VITRO* DES PROTEINES CARNEES

BAX M-L.[1, 2], AUBRY L.[1], GATELLIER P.[1], REMOND D.[2], SANTE-LHOUTELLIER V.[1]
[1] UR370-Qualité des Produits Animaux, [2] UMR1019-Unité de Nutrition Humaine
INRA de Clermont-Ferrand/Theix, 63122 St Genès-Champanelle, France

Introduction

La viande et les produits carnés représentent en France un tiers de l'apport en protéines journalier des adultes. On attribue généralement une forte valeur nutritionnelle à ces protéines en raison de leur équilibre en acides aminés indispensables, proche des besoins de l'homme. La composante dynamique de la réaction d'hydrolyse des protéines pendant la digestion va conditionner en partie la biodisponibilité et l'assimilation de ces acides aminés par l'organisme (Rémond 2008). La viande est un aliment complexe qui subit de nombreuses transformations avant d'être consommée (maturation, conservation, cuisson,...), les procédés technologiques sont susceptibles d'affecter la composante protéique de la viande en terme de composition en acides aminés, mais également en terme de modifications physico-chimiques (Astruc 2007; Gatellier 2008; Santé-Lhoutellier 2008). Par ailleurs, les travaux de Kamin-Belski (1996) et Liu (2000) sur la myosine en système modèle ont montré une réduction de l'activité des enzymes digestives en présence de myosine oxydée et sous forme d'agrégats moléculaires. A ce jour, l'ampleur des modifications structurales des protéines initiées, par les traitements technologiques, reste inconnue. Notre objectif est d'évaluer en quoi l'action protéolytique pendant la phase de maturation, et les traitements thermiques, peuvent moduler les paramètres de cinétique de digestion des protéines carnées par la pepsine. Comme facteur d'explication, nous nous intéressons à la caractérisation des agrégats protéiques formés au cours des traitements thermiques.

Matériel et Méthodes

L'étude est réalisée à partir de muscles *Longissimus dorsi* de porc (n=12), prélevés *post rigor* (J1) et maturés 4 jours (J4). Trois conditions de traitements thermiques sont appliquées à la viande maturée (J4): 70°C, 100°C et 140°C durant 30 min. Les pertes en eau à la cuisson sont évaluées par pesée.

L'extraction des protéines myofibrillaires est réalisée sur tous les échantillons (crus et cuits) selon la méthode de Pietrzak (1997).

La digestion des protéines myofibrillaires à la pepsine est effectuée selon le protocole suivant : 0,8 mg/mL de protéines myofibrillaires sont suspendues dans 7,5 ml de tampon glycine 33 mM à pH 1,8 avec 10UI de pepsine par mg de protéines (Porcine gastric mucosa, Sigma). Les tubes sont placés à 37°C sous agitation durant 90 minutes, des prélèvements réguliers sont réalisés aux temps suivants : 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 60 et 90 min. Après précipitation à l'acide trichloroacétique (15%) et centrifugation, les peptides solubles issus de la digestion à la pepsine sont mesurés par spectrophotométrie (λ= 280 nm) (Gatellier 2009). Pour chaque courbe de digestion, nous avons défini des paramètres de digestion : la vitesse initiale (ΔDO/h), le temps de demi-vie $t_{½}$ qui correspond à la durée nécessaire pour obtenir 50% de dégradation à la pepsine (min) et le maximum de dégradation (DO_{Max}).

L'agrégation des protéines est évaluée avec un granulomètre (FPIA-3000) qui caractérise le nombre, le diamètre et la forme des particules protéiques. La forme est caractérisée par la circularité et par un paramètre d'élongation (Ratio Feret=largeur/Longueur)

L'analyse de variance est réalisée en utilisant le logiciel SAS. Le facteur traitement inclut l'effet maturation entre J1 et J4 et l'effet traitement thermique. Les valeurs sont exprimées en moyenne ± SEM. Quand un effet significatif est observé, un test de comparaison de moyenne (test tukey) est effectué.

Résultats et Discussion

Les pertes à la cuisson représentent 21,5% à une température de 70°C, 31,5% pour 100°C et 58,2% pour 140°C. Ces valeurs sont comparables à celles de la littérature (Aaslyng 2003). La vitesse initiale de digestion des viandes (Figure 1) ne diffère pas au cours de la maturation (J1 et J4 cru). Ce résultat est en accord avec les données obtenues sur des viandes d'agneau conservées pendant une semaine et avec une quantité de pepsine deux fois supérieure à nos conditions (Santé-Lhoutellier 2008). Par contre un traitement thermique à 70°C résulte en une augmentation de la vitesse de digestion à la pepsine, qui n'est plus observée à 100°C et 140°C. Ce résultat peut s'expliquer par l'extériorisation des groupements hydrophobes lors d'un chauffage «modéré» et notamment celle des acides aminés aromatiques après lesquels agit la pepsine. A des températures supérieures s'ajoutent à l'augmentation de l'hydrophobie, des phénomènes d'agrégation, qui semblent limiter l'accessibilité de la pepsine aux sites de coupure.

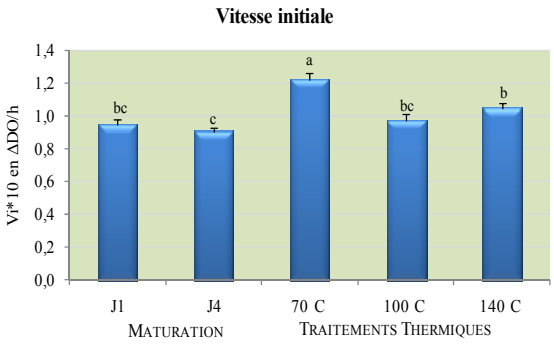


Figure 1 : Vitesse initiale de digestion *in vitro* à la pepsine

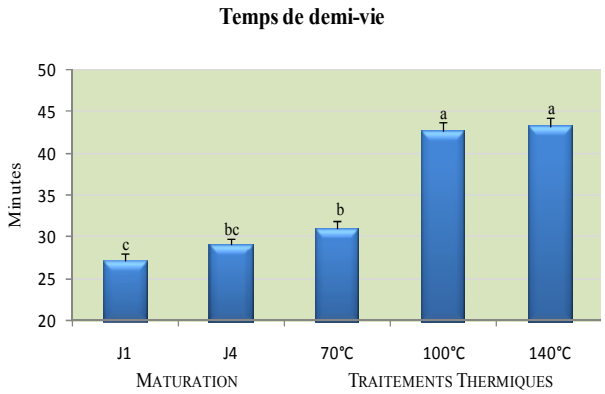


Figure 2 : Effets de la maturation et des traitements thermiques sur le temps de demi-vie $t_{½}$.

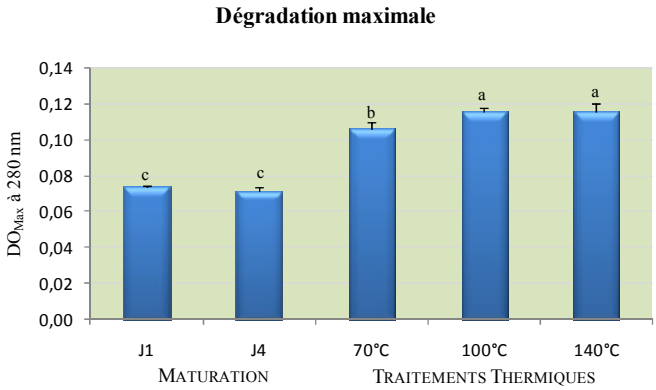


Figure 3 : Effets de la maturation et des traitements thermiques sur la dégradation maximale.

La figure 2 présente le temps de demi-vie $t_{½}$ et la figure 3 présente la dégradation maximale que peut atteindre potentiellement la pepsine. Ces deux paramètres de digestion présente un profil similaire. L'état de maturation de la viande n'affecte pas ces deux paramètres. Pour un traitement thermique à 70°C, le temps de demi-vie est similaire à celui de la viande crue (J4) et correspond à environ 30 minutes. En revanche, pour des températures supérieures, il est observé une augmentation de l'ordre de 30% pour le $t_{½}$. Le potentiel de dégradation maximale est augmenté avec les traitements thermiques. Globalement un chauffage des viandes à 70°C augmente la vitesse initiale de digestion à la pepsine et potentialise l'action de la pepsine.

Tableau 1 : Paramètres d'agrégation protéique

	Nombre de particules	Diamètre (µm)	Circularité	Ratio Feret
J1	25293,69 ± 2232,4 [b]	13,43 ± 0,24 [a]	0,7481 ± 0,0043 [d]	0,7303 ± 0,0047 [b]
J4	34915,73 ± 1267,64 [a]	13,60 ± 0,07 [a]	0,7883 ± 0,0007 [c]	0,7524 ± 0,0010 [a]
70°C	16763,77 ± 3495,89 [bc]	8,83 ± 0,23 [c]	0,8208 ± 0,0026 [b]	0,74915 ± 0,0054 [a]
100°C	10562,71 ± 2114,42 [c]	10,13 ± 0,30 [b]	0,8434 ± 0,0044 [a]	0,7606 ± 0,0040 [a]
140°C	8652,79 ± 1964,84 [c]	8,58 ± 0,26 [c]	0,8481 ± 0,0043 [a]	0,7601 ± 0,0049 [a]

En parallèle des paramètres de digestion, les mesures d'agrégations protéiques sont présentées dans le tableau 1. Les résultats montrent au niveau de la maturation qu'il y a une augmentation du nombre de particules ainsi qu'une augmentation de la circularité et du ratio Feret. Les traitements thermiques au-delà de 100°C réduisent de façon drastique le nombre et le diamètre des particules et conduisent à une augmentation de leur circularité. Ces données mettent en évidence la formation d'agrégats protéiques à la cuisson, et renseigne sur la perte de la structure fibreuse des particules en faveur de structures plus compactes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Promeyrat (2010) qui rapportent une augmentation graduelle de la circularité en fonction de la cinétique de chauffage.

Conclusion

Le dispositif *in vitro* utilisé nous a permis de caractériser la digestion des myofibrilles en termes de vitesse initiale, de temps de demi-vie et de dégradation maximale potentielle. Dans nos conditions, la maturation n'affecte pas ces paramètres de digestion. En ce qui concerne les traitements thermiques, nous avons mis en évidence deux comportements distincts : i) une augmentation de la vitesse initiale de dégradation par la pepsine pour la viande chauffée à 70°C, qui suggère une dénaturation thermique des protéines et ii) une augmentation des paramètres de demi-vie qui peut être due à une diminution d'accessibilité de la protéase digestive à son site de coupure. De plus, les traitements thermiques à température élevée génèrent des agrégats plus compacts et donc moins accessibles à la pepsine. Des travaux complémentaires seront conduits en combinant l'action de la pepsine à celle de la trypsine/chymotrypsine. Par ailleurs nous étudierons le type d'interactions mis en jeu dans la formation des agrégats (interactions hydrophobes, liaisons covalentes,…).

Références bibliographiques

Aaslyng M.D., Bejerholm C., Ertbjerg P., Bertram H.C., Andersen H.J., 2003. Food Quality and Preference, 14, 277-288.
Astruc T., Marinova P., Labas R., Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2007. J. Agric. Food Chem., 55, 9554-9558.
Gatellier P., Kondjoyan A., Portanguen S., Grève E., Yoon K., Santé-Lhoutellier V., 2008. Food Chem., 114, 1074-1078.
Gatellier P. & Santé-Lhoutellier V., 2009. Meat Sci., 81, 405-409.
Promeyrat A., Bax M-L., Traoré S., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., Gatellier P., 2010. Meat Sci., 85, 625-631.
Rémond D., Savary-Auzeloux I., Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2008. 12eme JSMTV, 33-40.
Santé-Lhoutellier V., Engel E., Aubry L., Gatellier P., 2008. Meat Sci., 79, 777-783.
Kamin-Belski N., Brillon A.A., Arav R., Shaklai N., 1996. J. Agric. Food Chem., 44, 1641-1646.
Liu G. & Xiong Y.L., 2000. J. Sci. Food Agric., 80, 1728-1734.
Pietrzak M., Greaser M.L., Sosnicki A.A., 1997. J. Anim. Sci., 75, 2106-2116.

Remerciements

Ces travaux bénéficient d'un soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du «Programme National de Recherche en Alimentation et Industries Agroalimentaires-ALIA», projet «ANR-09-ALIA-008-01».

L'ADDITION DE PALMITOSTEARINE A LA RATION N'ALTERE PAS LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES ACIDES GRAS DE LA VIANDE CHEZ LA VACHE NORMANDE EN FINITION

BAUCHART D.[1], THOMAS A.[1], HABEANU M.[1,2], LYAN B.[3], DURAND D.[1], NORMAND J.[4].

[1] INRA, UR 1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle, [2] IBNA, Balotesti, Roumanie, [3] INRA UMR 1019 Nutrition Humaine, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle, [4] Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 23 rue J. Baldassini, 69364 Lyon cedex 07

Introduction

Initialement introduits dans la ration en tant que sources de composés de haute densité énergétique permettant d'engraisser les animaux et d'acquérir un état de finition des carcasses satisfaisant avant l'abattage, les suppléments lipidiques présentent l'intérêt supplémentaire de pouvoir potentiellement améliorer la valeur nutritionnelle des AG des viandes pour le consommateur (Scollan, 2005). Des travaux menés en France ont montré que l'incorporation de graines oléagineuses telles que les graines de lin riches en acide linolénique (18:3n-3) dans les rations de jeunes bovins ou de vaches en finition améliore le statut en acides gras (AG) polyinsaturés (AGPI) de la viande (baisse du rapport n-6/n-3 ; teneur plus élevée en 18:3n-3) (Bauchart 2005 ; Normand 2005) ainsi qu'en acide linoléique conjugué (CLA) de type 9*cis*,11*trans* 18:2 et en 18:1 Δ11 *trans* favorables à la santé du consommateur (Bauchart 2005). Leurs effets varient en intensité et en orientation notamment selon la race et l'âge des animaux et la nature de la ration de base (Bauchart 2010). L'objectif de l'étude est d'étudier les effets, sur la valeur santé des AG de la viande de vaches de réforme en finition, de la supplémentation en palmitostéarine (forme saturée de l'huile de palme dont l'emploi se développe en France chez le bovin en finition) en interaction avec le type de ration de base (concentré + paille, ensilage de maïs + concentré).

Matériels et méthodes

L'essai, réalisé à la ferme expérimentale de Mauron (56), a porté sur 32 vaches de réforme Normande (âge à l'abattage : 58 mois ± 12, PV à l'abattage: 694 kg ± 57) recevant, en finition pendant 100 j, deux rations iso énergétiques et iso azotées composées i) d'aliment concentré (70%) et de paille (30% MS) (12,5 kg brut/j), ii) d'ensilage de maïs (70%) et d'aliment concentré (30%) (9,0 kg brut/j). Les animaux (n=8 par lot) ont reçu une des deux rations de base seule ou supplémentée en palmitostéarine (58 g/kg aliment) (Végégold, SONAP, 64410 Arzacq). Le GMQ des vaches pour la période expérimentale était de 1,49 kg/j (note d'état corporel à l'abattage : 2,9). Des échantillons de 150 g de muscle *Longissismus thoracis* (LT) ont été collectés 1 j *post mortem,* réduits en poudre fine et homogène par broyage dans N_2 liquide et conservés à -20°C jusqu'aux analyses.
Les lipides du muscle ont été extraits par broyage avec le mélange chloroforme-méthanol (2/1, V/V), puis leurs AG ont été extraits et transméthylés à 20°C par le méthanolate de Na puis le BF3-méthanol 14%. Les esters méthyliques d'AG (EM AG) ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse (CPG) sur colonne capillaire haute performance CP Sil 88 (L: 100m, Di: 0,25mm) et quantifiés par standardisation interne (19:0). Les isomères *trans* du 18:1 ont été isolés sous forme d'EM AG par HPLC préparative en phase reverse avec deux colonnes en série de type Kromasil KR100-5C18 (5µm, 250mm x 10mm) et élués par l'acétonitrile (4 mL/min) (détection à 206 nm). Les isomères EM des *trans* 18:1, convertis en adduits diméthyles disulfides (DMDS), ont été analysés par CPG-spectrométrie de masse sur chromatographe Agilent 7890A équipé d'une colonne HP5 MS, (30m x 25mm, gaz vecteur: He) relié au spectromètre de masse Agilent 5975E (énergie d'ionisation: 70eV) permettant la caractérisation structurale et la quantification des différents isomères *trans* du 18:1.
Les effets de supplémentation en palmitostéarine sur les teneurs et composition des AG du muscle LT ont été testés pour chacune des rations de base étudiées (concentré+ paille ou ensilage de maïs + concentré) par le test t de student.

Résultats et discussion

Pour les deux types de rations de base, la teneur en AG totaux du muscle LT chez la vache de réforme Normande en finition est voisine de 3% du tissu frais (Tableau 1). L'addition de palmitostéarine riche en AG saturés (16:0 : 48% ; 18:0 : 43% des AG totaux) ne modifie pas significativement cette teneur confirmant l'absence d'effets des différents suppléments lipidiques sur la teneur en AG totaux des muscles des bovins rapportée dans la littérature (Scollan , 2005).
Qualitativement, la composition de la ration de base (concentré+ paille, ensilage de maïs + concentré) ne modifie pas profondément la composition en AG de la viande dominée par les AG saturés (47,7 et 48,5%) et monoinsaturés *cis* (AGMI cis, 41,2 et 43,7%) (Tableau 1). En revanche, la ration à base de concentré favorise le dépôt des AGMI *trans* (+50%) dominés par les isomères *trans* du 18:1, notamment la forme Δ10 *trans* (51,4%) (Tableau 2) considérée comme indésirable pour l'homme par ses propriétés pro athérogènes. L'addition de palmitostéarine aux deux types de rations de

base ne modifie pas sensiblement le profil en AG majeurs du muscle LT, notamment la proportion des AG saturés totaux avec absence de modification significative du rapport 16:0/18:0 formes majeures des AG saturés (Tableau 1).

Tableau 1 : Teneur et composition centésimale des acides gras du muscle *Longissimus thoracis* (^{a,,b} P< 0,05).

	Concentré + paille (70/30)			**Ensilage de maïs + concentré (70/30)**	
Acides gras (% des AG totaux)	Ration de base	Ration de base + palmitostéarine		Ration de base	Ration de base + palmitostéarine
16:0	25,7 ± *2,4*	27,4 ± *1,8*		27,0 ± *2,2*	27,4 ± *1,4*
18:0	15,9 ± *1,6*	17,5 ± *1,9*		16,1 ± *2,1*	17,4 ± *2,07*
Σ Saturés	47,7 ± *1,4* ^{a}	50,6 ± *1,2* ^{b}		48,5 ± *3,0*	50,2 ± 2,4
Σ AGMI *cis*	41,2 ± *2,7*	40,2 ± *2,8*		43,7 ± *3,6*	42,2 ± *1,9*
Σ AGPI n-6	5,11 ± *1,64*	4,50 ± *1,31*		4,29 ± *0,93*	4,46 ± *1,51*
Σ AGPI n-3	1,44 ± *0,75*	1,19 ± *0,49*		0,98 ± *0,39*	1,49 ± *0,60*
16:0/18:0	1,62 ± *0,19*	1,59 ± *0,28*		1,70 ± *0,29*	1,59 ± *0,21*
Saturés /AGPI	7,68 ± *2,90*	9,11 ± *2,55*		9,08 ± *2,03*	9,04 ± *3,18*
AGPI n-6/AGPI n-3	3,84 ± *1,25*	4,01 ± *0,73*		4,75 ± *1,20* ^{b}	3,19 ± *0,78* ^{a}
Teneur en AG totaux (mg/100g tissu frais)	**2,96 ± *1,58***	**2,82 ± *1,04***		**3,04 ± *0,77***	**3,15 ± *1,39***

Les effets les plus marqués de l'addition de palmitostéarine aux rations sur les AG du muscle LT concernent les AGMI *trans* représentées par les isomères *trans* du 18:1 (Tableau 2). Elle diminue globalement leur teneur dans les AG totaux de la viande, soit -23% pour la ration concentré + paille (NS) et -34% pour la ration ensilage de maïs + concentré (P<0,05). Qualitativement, l'apport de palmitostéarine ne réduit pas la teneur en l'isomère anti athérogène Δ11*trans* mais module celles des isomères pro athérogènes, avec une baisse de la forme Δ10*trans* de-32% (NS) et -43% (P< 0,05) pour les rations concentré + paille et ensilage de maïs + concentré respectivement, au profit de la forme Δ9*trans* dont la teneur augmente de +85% (P< 0,05) et +48% (P< 0,05) respectivement (Tableau 2). De fortes modulations du profil en isomères *trans* du 18:1 ont déjà été décrites avec l'emploi de graines oléagineuses riches en AGPI n-3 (lin) mais exerçant un effet (opposé) de stimulation du dépôt en 18:1 *trans* (Bispo Villar 2009).

Tableau 2 : Teneur et composition centésimale des isomères trans du 18:1 du muscle *Longissimus thor.* (^{a,,b} P< 0,05).

	Concentré + paille (70/30)			**Ensilage de maïs + concentré (70/30)**	
Isomères 18:1 *trans* (% 18:1 *trans* totaux)	Ration de base	Ration de base + palmitostéarine		Ration de base	Ration de base + palmitostéarine
Δ6 *trans* à Δ8 *trans*	3,3 ± *0,6* ^{a}	5,8 ± *0,3* ^{b}		5,2 ± *0,6* ^{a}	6,8 ± *1,5* ^{b}
Δ9 *trans*	7,1 ± *1,9* ^{a}	13,1 ± *1,6* ^{b}		12,0 ± *1,7* ^{a}	17,8 ± *3,4* ^{b}
Δ10 *trans*	51,4 ± *16,5* ^{a}	34,7 ± *13,4* ^{b}		25,5 ± *10,8* ^{b}	14,5 ± *2,5* ^{a}
Δ 11 *trans*	23,8 ± *11,9*	30,4 ± *11,2*		40,2 ± *9,3*	40,9 ± *6,5*
Δ12 *trans* à Δ16 *trans*	14,4 ± *4,3*	15,9 ± 0,7		17,2 ± *2,2* ^{a}	23,2 ± *4,4* ^{b}
18:1 *trans* totaux (% AG totaux)	**3,84 ± *1,21***	**2,94 ± *0,72***		**1,93** ± *0,33* ^{b}	**1,27** ± *0,14* ^{a}

Conclusion

Malgré sa richesse en AG saturés, la palmitostéarine ajoutée aux rations à base de concentré ou d'ensilage de maïs modifie peu les caractéristiques des AG du muscle LT de la vache de réforme en finition. Son principal effet porte sur la réduction de la teneur en 18:1 *trans (*notamment pro athérogènes) bénéfique à la valeur santé de la viande pour l'homme.

Références bibliographiques

Bauchart D., Gladine C., Gruffat D., Leloutre L., Durand D., 2005. EAAP Publication N°112, 431-436.
Bauchart D., Thomas A., 2010. "Muscle et Viande de Ruminant", Editions Quae (éd. Bauchart D. & Picard B.).
Bispo-Villar E., Thomas A., Lyan B., Gruffat D., Durand D., Bauchart D. 2009. 11th ISRP, Clermont-Fd, 464-466.
Normand J., Bastien D., Bauchart D., Chaigneau F., Chesneau G., et al, 2005. Renc. Rech. Rum., 12, 359-366.
Scollan N., Richardson I., De Smet S., Moloney A.P., Doreau M., A.P., Bauchart D., Nürnberg K 2005. EAAP Publ. N°112, 151-162.

QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE D'AGNEAU DE RACE BARBARINE PRODUITE EN BERGERIE OU SUR PARCOURS : TENEUR EN LIPIDES ET COMPOSITION EN ACIDES GRAS

MAJDOUB-MATHLOUTHI L., SAÏD B., KRAIEM K.
Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, Sousse, Tunisie

Introduction

La région aride de la Tunisie est traditionnellement caractérisée par un élevage ovin sur parcours. L'agneau de race barbarine élevé sur ces parcours est bien apprécié par le consommateur tunisien pour ses qualités organoleptiques. Actuellement, ce produit commence à disparaitre au profit d'un élevage plus intensif, en bergerie, avec une alimentation à base de foin et de concentré. Pour garder ce produit particulièrement typique de la région, nous avons essayé de déceler ses particularités en termes de qualité nutritionnelle de la viande. Wood (2008) ont rapporté qu'une alimentation à l'herbe améliore la valeur santé des lipides de la viande des ruminants. La comparaison est faite entre des élevages sur prairie abondante et riche en plantes annuelles et des élevages en bergerie avec un apport important d'aliment concentré. L'objectif de ce travail est de comparer la composition en acides gras de la viande d'agneaux élevés en semi-intensif soit sur un parcours composés d'arbustes, soit en bergerie avec du foin et un apport modéré d'aliment concentré.

Matériel et Méthodes

Vingt quatre agneaux mâles de race barbarine, d'un poids moyen de 23 ± 1,9 kg ont été répartis en deux lots homogènes. Un premier lot a été élevé sur un parcours de la région aride supérieur de la Tunisie (Sidi Bouzid) composé d'arbustes (*Rhanterium suaveolens, Peganum harmala, Lygeum spartum, Salsola tetrandra…*). Il a été complémenté avec 100 g/j de concentré (16,5% tourteau de soja ; 25% de son de blé, 53,5% de maïs et 5% de complément minéral vitaminé). Le deuxième lot a été élevé en bergerie à base de foin d'avoine haché à volonté et de 250 g/j du même concentré. Les agneaux ont été abattus à un poids moyen de 35 ± 1,2 kg. Des échantillons du muscle *lumbarium,* entre la première vertèbre et 3ème vertèbre lombaire ont été prélevés 24 heures post mortem et congelés à -20°C pour l'analyse de la teneur en matière grasse et de la composition en acides gras. L'analyse de la matière grasse a été faite par la méthode de Folch (1957) après une extraction au chloroforme/méthanol (2/1). Les acides gras sont trans-estérifiés puis séparés par chromatographie en phase gazeuse à ionisation de flamme, sur colonne capillaire (OMEGAWAX 250) et avec l'hydrogène comme gaz vecteur. Les données ont été analysées par le logiciel Statistica (version 2000), selon le modèle GLM à un facteur (lot). Le poids à l'abattage a été pris comme covariable lors de l'analyse. Les données sont présentées sous forme de moyennes ajustées.

Résultats et discussion

La teneur en gras intramusculaire est plus faible chez les agneaux élevés sur parcours (2,46 % vs 3,42% pour les lots parcours et bergerie, respectivement). L'engraissement des agneaux sur parcours augmente le rapport insaturés/saturés. Ce dernier est de 0,23 pour le lot bergerie contre 0,34 pour le lot parcours ($P < 0,05$). Cette augmentation du rapport est associée à une réduction du pourcentage des acides gras saturés et une augmentation de celui des polyinsaturés (15,04 vs 10,74 pour les lots parcours et bergerie, respectivement). L'alimentation sur parcours s'est traduite par une baisse de 1,23 point du pourcentage de l'acide palmitique (C16:0) et de 0,49 point du pourcentage de l'acide stéarique (C18:0). Ces deux acides gras représentent la part majeure des acides gras de la viande. Pour les acides gras insaturés, la part des acides gras mono insaturés est plus faible chez les agneaux sur parcours, en particulier pour le C18:1, (35,92 et 38,75 % pour les lots parcours et bergerie respectivement, $P < 0,001$). Quant aux acides gras polyinsaturés, le pourcentage de LA (C18: 2n-6) a augmenté de 32% en mettant les animaux sur parcours. Ceci s'est traduit par une augmentation de la part de l'acide arachidonique (AA, C20:4n-6). De même le pourcentage d'ALA (C18: 3n-3) est augmenté en mettant les agneaux sur parcours (1,05 vs 0,57 %pour les agneaux élevés sur parcours et en bergerie, respectivement). Ainsi, une augmentation des pourcentages d'EPA (C20: 5n-3), DPA (C22: 5n-3) et DHA (C22: 6n-3) est observée chez les agneaux sur parcours. La part des acides gras polyinsaturés à longue chaîne (C20-C22: n-3) est de 1,25% pour le lot parcours contre 0,43 pour le lot bergerie ($P < 0,001$). Par ailleurs le pourcentage du CLA n'a pas été modifié et est de 0,45%.

Que ce soit en bergerie ou sur parcours, la valeur santé des acides gras de la viande semble acceptable avec un rapport polyinsaturés/ saturés supérieur à ce qui est rapporté pour la viande ovine (0,15 ; Wood 2006). Ces rapports sont en accord avec ceux trouvés par Diaz (2002). Néanmoins, ils restent inférieurs à la valeur recommandée en nutrition humaine (0,43, Wood, 2008). L'amélioration de ce rapport dans le lot parcours a été discutée par Scollan (2006) et Wood (2008). Elle pourrait être associée à une réduction de la biohydrogénation dans le rumen, suite à la présence de polyphénols. Les rapports oméga6/oméga3 et LA/ALA sont aussi plus faibles pour le lot parcours. Ils restent élevés et loin de la valeur seuil recommandée pour la nutrition humaine (oméga6/oméga3 < 4, Wood 2008). Mcafee (2010) a

discuté l'utilité de ce rapport oméga6/ oméga 3.Il semble plus intéressant de tenir compte de l'apport global en oméga 6 et en oméga 3. Les deux groupes d'acides gras polyinsaturés étant nécessaires pour la santé humaine. Par ailleurs, l'alimentation des agneaux sur parcours a augmenté la part des acides gras longs polyinsaturés du type n-3, ce qui confirme les résultats d'Aurousseau (2004). Ces acides gras étant démontrés comme ayant un effet sur la réduction des risques de maladies cardiovasculaires (Mc Afee 2010)

Tableau 1 : Teneur en matière grasse (g/100g muscle frais) et composition en acides gras (% acides gras identifiés) dans le muscle *lumbarium* des agneaux élevés sur parcours ou élevés en bergerie

	Bergerie	Parcours	SEM	Probabilité
Matière sèche	27,61	26,54	0,31	***
Matière grasse	3,42	2,46	0,20	***
C12:0 (laurique)	0,09	0,13	0,01	***
C14: 0 (myristique)	1,84	1,85	0,10	***
C15: 0 (pentadécanoïque)	0,39	0,41	0,02	***
C16: 0 (palmitique)	**20,65**	**19,42**	**0,37**	***
C17: 0 (margarique)	1,25	1,24	0,05	*
C18: 0 (stéarique)	**21,44**	**20,95**	**0,40**	**
C20: 0 (arachidique)	0,17	0,22	0,01	***
C16: 1 (palmitoléique)	1,28	1,24	0,05	**
C17:1 (heptaécénoïque)	0,56	0,49	0,02	**
C18: 1 (oleique)	**38,75**	**35,92**	**0,72**	***
C20:1 (gadoléique)	0,13	0,15	0,01	*
C18: 2n-6 (linoléique, LA)	**6,16**	**8,16**	**0,42**	**
C18: 2 conj (CLA)	**0,45**	**0,45**	**0,09**	**NS**
C20: 2n-6 (eicosadiènoïque)	0,40	0,39	0,02	NS
C18: 3n-3(α-linolénique, ALA)	**0,57**	**1,05**	**0,09**	*
C20: 3n-6 (eicosatriènoïque)	0,17	0,23	0,02	NS
C20: 4n-6(AA)	**1,49**	**2,75**	**0,23**	*
C20: 5n-3 (EPA)	**0,09**	**0,35**	**0,04**	***
C22: 5n-3 (DPA)	**0,29**	**0,78**	**0,09**	*
C22:6n-3 (DHA)	**0,05**	**0,12**	**0,01**	*
Acides gras saturés	**46,32**	**44,75**	**0,63**	***
Acides gras monoinsaturés	**40,72**	**37,80**	**0,75**	***
Acides gras polyinsaturés	**10,74**	**15,04**	**0,84**	**
Acides gras insaturés	**51,47**	**52,84**	**0,68**	***
Oméga 6	**8,26**	**11,57**	**0,66**	*
Oméga 3	**0,89**	**1,83**	**0,18**	*
Insaturés/saturés	**1,12**	**1,93**	**0,03**	**
Polyinsaturés/saturés	**0,23**	**0,34**	**0,02**	*
Oméga 6/oméga 3	**9,40**	**7,73**	**0,65**	***
C18: 2 n-6/C18: 3 n-3	**10,59**	**9,54**	**0,84**	**

Conclusion

La viande d'agneau produite sur parcours semble avoir une meilleure qualité nutritionnelle liée à une meilleure valeur santé des lipides.

Références bibliographiques

Aurousseau B., Bauchart D., Calichon E., Micol D., Priolo A., 2004. Meat Sci. 66, 531-541.
Diaz M.T., Velasco S., Caneque V., Lauzurica S., Ruiz de Huidobro F., Perez C., Gonzalez J., Manzanres C., 2002. Meat Sci. 43, 257-268.
Folch J.0., Lees M., Stanley G.H.S., 1957. J. Biol. Chem. 226, 497-509.
McAfee A.J., McSorley E.M., Cuskelly G.J., Moss B.W., Wallace J.M.W., Bonham M.P., Fearon A.M., 2010. Meat Sci. 84, 1-13.
Scollan N., Hocquette J.F., Nuernberg K., Dannenberger D., Richardson I., Moloney A., 2006. Meat Sci. 74, 17-33.
Wood J.D., Enser M., Fisher, G.R., Nute P.R., Sheard R.I., Richardson S.I, Hughes F.M., Whittington F.M., 2008. Meat Sci. 78, 343-358.

PREDICTION DE LA TENEUR EN ACIDES GRAS POLYINSATURES n-3 A LONGUE CHAINE DES VIANDES BOVINES PAR UNE APPROCHE DE META-ANALYSE

GRUFFAT D., BELARD F., VERNET J., DURAND D., BAUCHART D., ORTIGUES-MARTY I.

INRA, UR 1213 Herbivores, Site de Theix, F-63122 St Genès Champanelle, France

Introduction

Les acides gras (AG) polyinsaturés longue chaîne n-3 (AGPI LC n-3), notamment l'acide docosahexaènoïque (DHA, 22:6 n-3), sont essentiels à l'homme pour son développement corporel, le maintien des fonctions cognitives de son cerveau et la prévention de nombreuses pathologies (Benatti 2004). Toutefois, l'alimentation humaine dans les pays industrialisés est largement déficitaire en ces AG (Simopulos 2000) qui sont apportés essentiellement par la consommation des produits de la mer (poissons et crustacés). Les réductions drastiques très prochaines de la pêche en mer imposées par les autorités de nombreux pays et les apports nutritionnels conseillés en ces AG pour l'homme réévalués à la hausse (DHA : 250 vs. 125 mg/j/personne) (AFSSA 2010) impliquent de pallier ce déficit par un apport accru de ces AG par d'autres sources animales. Dans ce contexte, de nombreuses études nutritionnelles ont visé à augmenter les apports alimentaires en AGPI LC n-3 pour l'homme en diversifiant les sources, notamment par la viande de ruminant (Scollan 2005). Les facteurs étudiés susceptibles de modifier les teneurs en AGPI LC n-3 dans les tissus étaient soit intrinsèques (race, âge, sexe des animaux, type de muscles, type de production) soit extrinsèques (composition de la ration de base, teneur et composition des suppléments lipidiques…) (Bauchart 2010 ; Nuernberg 2005). Toutefois, les conditions expérimentales testées étant très diverses, aucune loi générale n'a pu être formulée et donc utilisée dans des stratégies d'élevage.
La présente étude a donc pour objectif d'explorer, par une approche de méta-analyse, les liens qui peuvent exister entre les différents facteurs d'élevage et la teneur en AGPI LC n-3 dans les muscles de bovin.

Matériels et méthodes

Une approche de modélisation empirique basée sur des méthodes de méta-analyse qui permettent la dissociation des variations inter et intra-expérience et l'analyse des facteurs interférents potentiels (St Pierre, 2001 ; Sauvant et al., 2005) a été développée. Une base de données relationnelle nommée "Nutriflux", visant à recueillir des données tirées de la bibliographie a été constituée (Vernet 2006). Cette base a servi de support pour la constitution d'une sous-base "ω3-Meat" dans laquelle ont été intégrées des données de la bibliographie ou obtenues dans notre laboratoire concernant l'impact des facteurs d'élevage sur la teneur en AGPI LC n-3 de la viande bovine. La sélection des publications a été conduite sur les critères suivants : 1) teneurs rapportées en différents AGPI LC n-3 dans les muscles de bovins et 2) publications garantissant la qualité des méthodes d'analyse (postérieures à 2000). Ainsi, dans un premier temps, les données de près de 40 articles primaires rapportant 1) le type animal (génotype, sexe, âge, performances...), 2) les conditions d'alimentation regroupées en grandes catégories en fonction de la composition de la ration et des suppléments lipidiques et 3) la composition et la teneur en AG de différents muscles ont été saisies. Après une description fine et précise du méta-dispositif, ces données ont été traitées par méta-analyse pour la recherche de modèles (Schéma 1).

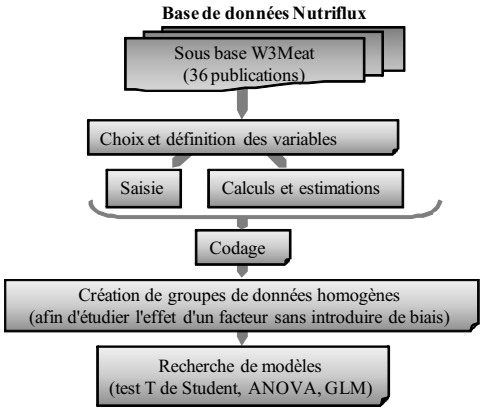


Schéma 1 : Démarche utilisée pour la prédiction par méta-analyse de la teneur en AGPI LC n-3 des viandes bovines

Résultats

L'étude a nécessité 1) de construire des groupes d'animaux homogènes afin de pouvoir étudier l'effet d'un facteur en introduisant le moins de biais possible, 2) de visualiser ces effets en les présentant sous forme de corrélation entre les concentrations en DHA et en son précurseur, l'acide docosapentaénoïque (DPA, 22:5 n-3) (Figure 1). Les résultats déjà

acquis montrent que la teneur en DHA des phospholipides (PL) des muscles de bovin varie de 0 à 5 mg / 100 g de muscle frais, soit de 0 à 1% des AG totaux des PL. Toutefois, aucune relation a été mise en évidence entre le degré de précocité des animaux en matière de lipogenèse tissulaire (précoce vs. tardif), le type d'animal (vaches de réforme vs. taurillons vs. bouvillons), le type de production (lait vs. mixte vs. viande) et la teneur en DHA de la viande bovine. En revanche, la teneur en DHA des PL des muscles apparaît influencée par la nature de la ration offerte aux animaux (P <0,001). Ainsi, la comparaison de trois régimes standards montre qu'une alimentation à base d'herbe (pâturage, ensilage d'herbe) conduit à une teneur en DHA dans les PL des muscles de bovins plus importante (de 2,0 à 5,0 mg / 100 g muscle) qu'une alimentation à base d'aliment concentré seul (de 0,3 à 2,5 mg / 100 g muscle) ou supplémenté avec des graines de lin (de 0,5 à 2,0 mg / 100 g muscle) (Figure 1).

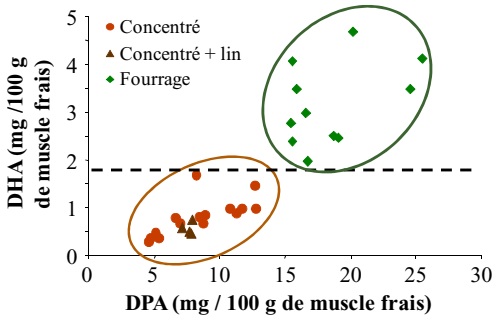


Figure 1 : Impact de la nature de la ration sur la teneur en DHA des PL des muscles bovins.
(34 observations, 8 publications)

Discussion

Les analyses réalisées ont permis de mettre en évidence une bonne corrélation entre les teneurs en DHA et celles de DPA dans les PL des muscles suggérant l'existence d'une biosynthèse *de novo* de DHA chez le bovin.
D'autre part, le facteur de variation majeur de la teneur en DHA dans les muscles est la consommation d'un régime riche en fourrages verts par rapport à un régime à base d'aliment concentré. Cet effet résulte probablement de la qualité des AG apportés par la ration, les fourrages étant riches en acide linolénique (18:3n-3) (Morand-Fehr 2001), acide gras précurseur du DHA, alors que les aliments concentrés sont riches en acide linoléique (18:2n-6).
Par contre, la supplémentation en graines de lin d'un régime à base d'aliment concentré ne semble pas affecter les concentrations en DHA. Ce résultat est étonnant car les graines de lin, comme les fourrages, apportent principalement du 18:3n-3. Trois hypothèses peuvent expliquer ce résultat : 1) la durée d'apport en 18:3n-3 est probablement très différente entre des animaux en élevage extensif et des animaux en finition supplémentés avec des graines oléagineuses, 2) la matrice d'apport du 18:3n-3 (graine extrudée vs. herbe) et/ou 3) la composition de la ration de base (teneur en fibres, matière organique disponible…) pourraient être des facteurs importants intervenant dans la biodisponibilité de cet AG (différence de bio-hydrogénation ruminale, …).

Conclusions

Ces premiers résultats sont prometteurs et mettent en évidence la pertinence de cette approche. La base de données devra être enrichie, notamment en d'autres AGPI d'intérêt pour l'Homme (DPA, EPA, 18:3 n-3…). En effet, la filière « Viande » recherche des outils pour évaluer l'impact de leurs modes de conduite sur la valeur nutritionnelle des viandes et des méthodes rapides d'estimation et de prédiction de cette qualité. Ainsi, un enjeu majeur de ce travail sera de fournir aux éleveurs des indicateurs (ou lois de réponse) les plus généraux possibles pour prédire et définir les conditions d'élevage des bovins en finition susceptibles de favoriser le dépôt musculaire en AGPI LC n-3 et in fine dans la viande afin de mieux répondre à la couverture des besoins de l'homme en ces AGPI essentiels.

Références bibliographiques

AFSSA, 2010. Saisine n°2006-SA-0359. http://www.afssa.fr/
Bauchart D., Thomas A., 2010. In "Muscle et Viande des Ruminants", Editions Quae, Versailles, Bauchart D. et Picard B. éditeurs (à paraître).
Benatti P., Peluso G., Nicolai R., Calvani M., 2004. J. Am. Coll. Nut., 23, 281-302.
Morand-Fehr P., Tran G., 2001. INRA Prod. Anim., 14, 285-302.
Nuernberg K., Dannenberger D., Nuernberg G., 2005. Livestock Prod. Sci., 94, 137-147.
Saint-Pierre N.R., 2001. J. Dairy Sci., 84, 741-755.
Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., 2005. INRA Prod. Anim., 18, 63-73.
Scollan N., Richardson I., De Smet S., Moloney A.P., Doreau M., Bauchart D., Nürnberg K., 2005. In "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors J.F. Hocquette and S. Gigli), Wageningen Acad.Publ., pp. 151-162.
Simopoulos A.P., Leaf A., Salem N., 2000. Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids, 63, 119-121.
Vernet J., Ortigues-Marty I., 2006. Reprod. Nutr. Dev., 5, 527-546.

AMELIORATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DES JAMBONS SECS ENRICHIS EN ACIDES GRAS POLYINSATURES N-3 PAR L'INTRODUCTION D'ANTIOXYDANTS D'ORIGINE VEGETALE DANS LA RATION

MAIRESSE G.[1], BENET M.[1], METEAU K.[2], JUIN H.[2], DURAND D.[3], MOUROT J.[1]

[1]INRA, UMR1079 SENAH, 35590 Saint-Gilles
[2]INRA, UE1206 EASM, 17700 Surgères
[3]INRA, UR1213 URH, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

Les teneurs en lipides, le profil en acides gras des viandes et leur sensibilité à l'oxydation sont des facteurs essentiels dans la détermination de la qualité nutritionnelle et sensorielle des viandes. Dans un contexte d'amélioration de la qualité nutritionnelle des viandes, de nombreux travaux se proposent d'augmenter les teneurs en acides gras polyinsaturés n-3 (AGPIn-3). Néanmoins, ces acides gras sont très sensibles à l'oxydation. Dans un produit comme le jambon sec, l'oxydation des lipides est importante dans le développement des flaveurs spécifiques (Gandemer 2002). Ainsi, le risque de lipopéroxydation est d'autant plus grand pour des jambons secs enrichis en AGPIn-3 via l'alimentation des porcs, comme cela a été montré par Musella (2009). Afin de limiter ce phénomène l'utilisation d'antioxydants d'origine végétale est de plus en plus fréquente comme alternative efficace à la vitamine E. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet d'une supplémentation en antioxydants d'origine végétale dans l'alimentation des porcs charcutiers sur le profil en acides gras des jambons secs, leurs oxydations ainsi que leurs profils sensoriels.

Matériel et méthodes

Quatre groupes des 8 porcs mâles castrés [(Large-White X Landrace) X (Piétrain)] (poids initial : 52,6 ± 6,6 kg ; poids final : 109,0 ± 5,6 kg) ont été nourris *ad libitum* avec l'un des 4 régimes. Tous les régimes ont été formulés sur la base d'un aliment standard d'engraissement (2% de lipides, 17% de protéines) auquel a été rajouté 2,5% d'huile de palme (Régime P, 1 groupe) ou 6,3% de graines de lin extrudées (Tradi-Lin®, Valorex) pour 3 groupes : la graine de lin était ajoutée seule (régime L) ou complétée avec 2 sources d'antioxydants d'origine végétale différentes, AOV1 et AOV2 (régime L+AOV1 et régime L+AOV2). Les 4 régimes sont iso-lipidiques (4,6%) et iso-énergétiques (16,6 MJ/kg). Des jambons secs ont été transformés (séchage pendant 9 mois) et analysés. Un lot supplémentaire constitué de 5 jambons secs standards du commerce a également été analysé (lot commercial). Le profil en acides gras des jambons a été déterminé par Chromatographie en Phase Gazeuse, après saponification et méthylation des lipides totaux extraits selon les méthodes de Folch (1957) et Morrison (1964). Les niveaux d'oxydation des jambons secs ont été évalués par dosage du malondialdéhyde (MDA) par HPLC comme décrit par Gladine (2007).
Seuls les jambons secs issus des régimes L, L+AOV1, L+AOV2 ainsi que ceux issus du commerce ont été testés en analyse sensorielles. Ces dernières ont été réalisées avec 12 jurés au laboratoire d'analyse sensorielle de l'INRA (Le Magneraud). Pour chaque critère, la notation s'est effectuée sur une échelle continue bornée de 0 à 10 en 8 séances.
Les profils en acides gras et les paramètres de lipopéroxydation ont été soumis à un traitement statistique d'analyse de variance. Les moyennes ont été comparées 2 à 2 selon le test de Bonferroni. Les résultats de l'analyse sensorielle ont été traités par analyse de variance (test de Tukey, 5%). Les seuils de significativité ont tous été fixés à 5%.

Résultats et discussion

Les teneurs en lipides des différents jambons sont compris ente 7,5 et 10% de lipides ($p>0,05$; résultats non présentés). Par ailleurs, les pourcentages d'acides gras saturés et AGPIn-6 ne varient pas (compris respectivement entre 35-36,7% et 11,6-12,5% des acides gras totaux, $P>0,05$). L'ajout du lin dans les rations induit une baisse significative des acides gras monoinsaturés (de 49% pour le lot P à 45% des acides gras totaux pour les lots L, L+AOV1 et L+AOV2) au bénéfice des AGPIn-3. Les teneurs absolues en AGPIn-3 (mg/100g) et particulièrement en C18:3n-3 (ALA) sont multipliées par 5, les teneurs en C22:5n-3 (DPA) par 2, tandis que les teneurs en C20:5n-3 (EPA) et en C22:6n-3 (DHA) restent stables, respectivement 30 et 3mg/100g (Figure 1).
L'ajout d'antioxydant dans les rations ne modifie pas le profil en acides gras des jambons secs conformément à des études précédentes (Lee 2006). Alors que les teneurs en MDA des jambons du lot L sont 5 fois supérieures à celles du lot P (10,2 vs. 2,1 µg/g, respectivement), l'ajout d'antioxydants végétaux permet de diminuer significativement d'environ 40% le niveau d'oxydation des jambons enrichis en AGPIn-3 (Figure 2). Cependant, les teneurs en MDA des jambons L+AOV1 (5,7 µg/g) et L+AOV2 (5,6 µg/g) restent supérieures à celles obtenues dans les jambons du lot P et du lot commercial (0,58 µg/g). Bien que les teneurs en MDA des jambons secs enrichis en AGPIn-3 soient supérieures à celles des jambons commerciaux, les qualités sensorielles des jambons secs ne sont globalement pas modifiées (Tableau 1).

Figure 1 : Teneurs des principaux AGPIn-3 des jambons secs (en mg/100g). Régimes P (■), L (□), L+AOV1 (▨), L+AOV2 (▤) et Lot commercial (▤)

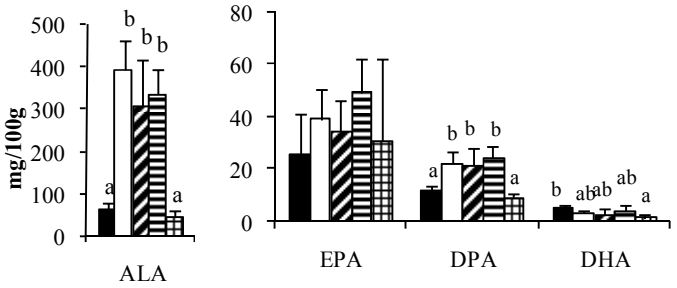
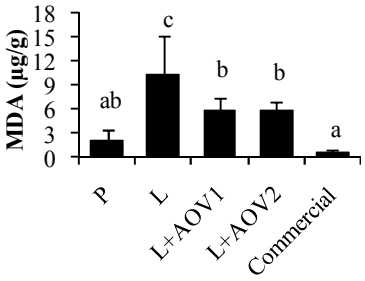


Figure 2 : Teneurs en MDA (µg/g) des jambons secs.



Plus précisément, les jambons des lots L, L+AOV1 et L+AOV2 sont plus clairs, moins brillants et moins persillés que les jambons du commerce. Les jambons commerciaux sont jugés plus tendres que les jambons enrichis en AGPIn-3 sauf ceux du lot L+AOV1. Les autres descripteurs ne diffèrent pas significativement. Ces différences peuvent provenir d'autres facteurs que l'alimentation des animaux, tels que le type génétique, la conformation et la quantité de gras sous cutané de la pièce primaire avant sa transformation. Aucune flaveur ni odeur anormale ne sont détectées dans les jambons des différents lots, contrairement à l'étude de Musella (2009) réalisée sur des jambons de Parme.

Tableau 1 : Analyse sensorielle des jambons secs : scores moyens par lot.

	L	L+ AOV1	L +AOV2	Lot Commer.	Effet
Couleur du gras	3,14	3,42	3,58	3,29	ns
Couleur du muscle	3,81[a]	3,45[a]	3,76[a]	6,20[b]	***
Brillant	3,23[a]	3,34[a]	3,08[a]	5,09[b]	***
Persillé	2,95[a]	3,39[ab]	3,04[a]	3,97[b]	***
Odeur anormale	1,25	1,09	1,21	1,17	ns
Tendreté	4,28[a]	4,78[ab]	4,17[a]	5,08[b]	***
Salé	3,13	3,30	3,42	2,77	ns
Poivré	1,01	1,15	1,11	1,16	ns
Rance	0,67	0,50	0,67	0,41	ns
Piquant	1,25	1,28	1,47	0,92	ns
Foin/Herbe	0,47	0,50	0,54	0,66	ns
Terre/Moisi	0,60	0,41	0,40	0,46	ns
Flaveur anormale	0,82	1,16	0,87	1,08	ns

*ns : P>0,05 ; *** : P<0,001.*

L'ajout d'AOV dans les rations n'a pas d'effet significatif sur les qualités organoleptiques des jambons secs. Seul l'AOV1 augmente sensiblement l'aspect persillé et la tendreté des tranches. Les notes obtenues pour ces critères se rapprochent alors de celles obtenues pour le lot standard du commerce.

Conclusions

L'enrichissement de l'alimentation des porcs par de la graine de lin extrudée permet un enrichissement important des jambons secs en AGPIn-3. Globalement, les qualités organoleptiques des jambons secs enrichis en AGPIn-3 sont similaires à celles de jambons standards issus du commerce, même si leur teneur en MDA est plus importante. En outre, malgré ces teneurs en MDA élevées, aucune odeur ni flaveur anormale n'a été détectée dans les jambons enrichis en AGPIn-3. L'ajout d'antioxydant d'origine végétale permet de limiter ces niveaux de MDA sans modifier significativement la composition en acides gras et la qualité organoleptique des jambons.

Références bibliographiques

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Gandemer G., 2002. Meat Sci., 62, 309-321.
Gladine C., Morand C., Rock E., Gruff D., Bauchart D., Durand D., 2007. Anim. Feed Sci. Technol., 139, 257-272.
Lee S., Faustman C., Djordjevic D., Faraji H., Decker E.A., 2006. Meat Sci., 72, 18-24.
Musella M., Cannata S., Rossi R., Mourot J., Baldini P., Corino C., 2009. J. Anim. Sci., 87, 3578-3588.
Morrison W, Smith L., 1964. J. Lip. Res., 5, 600-608.

Remerciements

Les auteurs remercient les sociétés CCPA et PHYTOSYNTHESE pour la fourniture des antioxydants d'origine végétale, la société AOSTE pour la transformation des jambons secs, la société VALOREX pour les graines de lin extrudées. Ce travail a été mené avec l'appui financier de l'ANR - Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme National de Recherche en Alimentation et Nutrition Humaine, Projet ANR-06-PNRA-018, LIPIVIMUS.

EFFET DE DIFFERENTS SYSTEMES D'ELEVAGE SUR LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS DE LA VIANDE D'AGNEAU

ELAFFIFI M.[1], BOUDEROUA K.[1], MOUROT J.[2]
[1] Laboratoire de Technologie Alimentaire et de Nutrition, Université de Mostaganem BP 300 Mostaganem-Algérie
[2] INRA, UMR 1079 SENAH, F-35590 Saint-Gilles, France

Introduction

La viande rouge des ruminants est riche en lipides et en acides gras saturés (AGS). Limiter les teneurs en AGS et augmenter celles des acides gras poly insaturés (AGPI) est un objectif primordial des différents programmes nutritionnels (AGPI/AGS = 0.45 et n-6/n-3 = 5) (Scollan 2005). Le régime alimentaire des animaux et le système de production sont des facteurs susceptibles de modifier ces teneurs et ces rapports. La qualité des viandes des animaux mis à l'herbe comme dans les régions de montagne est peu documentée et les résultats sont très partiels. L'herbe est l'un des liens au terroir d'origine qui pourrait conférer à la viande des spécificités (Givens, 2005), sous l'effet de la flore responsable de la réduction de la bio hydrogénation (Chilliard 2007). Maene (2002) rapporte que l'herbe augmente la quantité des acides gras polyinsaturés dans le muscle et leurs homologues (EPA, DHA, DPA), et en CLA par rapport à un régime à base de concentré. La teneur de l'herbe en C18:3 *n-3* est maximale dans les jeunes pousses de printemps (Morand-Fehr, 2001). Son usage ne s'envisage que sur une partie de l'année. L'objectif de notre travail était d'étudier le profil des acides gras des viandes d'agneaux issus de pâturage de trois régions d'Algérie caractérisées par des latitudes et d'altitudes différentes comparées à un engraissement intensif en plaine.

Matériels et méthodes

Trois groupes de 12 agneaux de race locale Ouled Djellal, de poids moyen de 12.25 ± 2 kg et d'âge moyen de 5 à 6 mois, ont été élevés au pâturage dans trois différentes zones bioclimatiques de l'ouest Algérien de latitude et d'altitude distinctes respectivement Borgia (zone humide ; H), Oued Sefyoune (zone semi aride ; SA) et Horchaia (zone aride ; A), durant la saison du printemps de l'année 2009 pendant 90 à 120 jours. Un 4ième groupe d'agneaux en élevage intensif (C) en zone de plaine a été engraissé par un aliment à base de concentré. Au terme des différents essais, les animaux ont été abattus. Les carcasses ont subi un ressuage de 24h à +4 C°. Des prélèvements d'échantillons au niveau du muscle *Longissimus dorsi* pour chaque carcasse ont été effectués puis broyés sous forme d'aliquote, conditionnés et conservés à -20°C pour les analyses ultérieures. Les lipides sont extraits par la méthode de Folch (1957). Les extraits lipidiques sont ensuite méthylés selon la méthode de Morisson (1964). Les esters méthyliques sont par la suite passés en chromatographie phase gazeuse pour l'analyse des acides des acides gras. Le calcul statistique a été effectué par un logiciel software (SAS, 1989). Les valeurs ont été comparées selon une analyse de variance (ANOVA).

Résultats et Discussion

La composition en acides gras (AG) des muscles des différents groupes d'agneaux sont représentés dans le tableau 1. A teneurs comparables en lipides totaux (20 à 23%), le C16:0, le C18:0 et le C18:1 n-9c sont prédominants dans les 4 groupes. Le C16:0 et le C18:0 sont significativement plus élevés dans les groupes d'animaux des zones aride (A) et semi aride (SA). Aucune différence significative n'a été révélée pour le C18:1 n-9c et le C18:1n-7 entre les 4 groupes d'animaux. Cette observation corrobore les résultats obtenus par Gatellier, (2005). Les viandes d'animaux de la zone SA et du régime C ont une teneur plus élevée en C18:2 n-6c comparativement aux autres groupes (P<0.001)). La représentation de l'isomères trans C18:2 n-6t est en faveur (P<0.001) des animaux élevés dans les zones semi aride et arides suivi du régime C (0,87 vs 0,81)% (figure 1). Cette observation est semblable au dépôt significatif des CLA dans les lipides des essais d'animaux nourris exclusivement à l'herbe source des ALA générateur des CLA par la voie de la Δ9-désaturase, et l'isomérisation par la flore du rumen tel que *Butyvibrio fibrisolvens* (Maene 2002). L'acide gamma linolénique (C18:3 n-6) est beaucoup plus présent dans la viande des groupes SM et A, relativement supérieur à celui de la zone H et le régime C (p<0,001). Cet AG, indicateur de la consommation d'herbe comme l'a rapporté Dufey(2008), nous laisse penser que les animaux des groupes des hautes altitudes (SM et A) ont effectivement consommé de l'herbe. L'influence de l'alimentation à base d'herbe de la zone aride à haute altitude se manifeste également sur l'augmentation intramusculaire de l'acide α-linolénique (C18:3 n-3) comparativement à la région humide de basse altitude (1,98 vs 1,42%). Les AGPI longues chaines sont faiblement représentés dans la viande des 4 groupes quoique des différences significatives sont observées ente les différentes viandes pour le DPA (C22:5

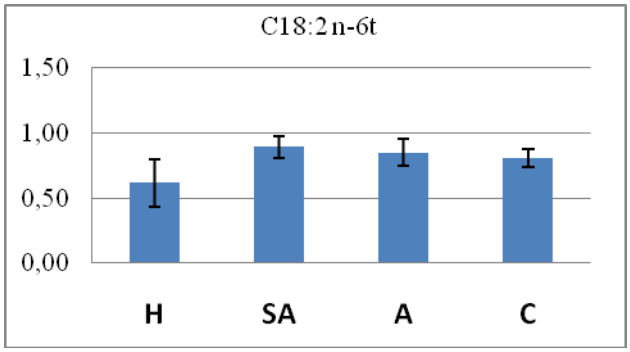
n-3) qui apparait relativement plus prédominant dans le groupe de la zone A (P<0.04) comparativement aux zones H et SA. Ces résultats sont similaires à ceux de Nürnberg (2001) et Yang (2002) où le DPA et le DHA ont connu une stabilité aux environs de (0,22 vs 0,22%) et (0,03 vs 0,04%).
Plus globalement les quantités totales des AGS et AG monoinsaturés sont peu variables. Ces observations sont en accord avec celles rapportées par Popova (2006) sur *M. Longissimus lumborum et M. semimembranosus* et sur des agneaux d'herbe et de bergerie en système d'élevage conventionnel et en agriculture biologique. Toutefois, la différence est beaucoup plus perceptible pour les AGPI, où la viande de régions SM et A apparaît en contenir plus que celle de la région H (5,33 et 5,40 contre 4,43 %). Cet effet s'est retentit sur la somme des acides gras n-6.

Tableau 1 : Lipides totaux (LT) et AG (en% des AG identifiés) en fonction des systèmes d'élevage.

régimes	H	SA	C	A	Sem	effet
LT (g/100g)	21,17a	20,67a	22,73a	23,45a	5,39	NS
C16:0	26.19a	28.22b	26,18a	27,78b	1,10	p<0,001
C18:0	24.97a	18.35c	22.10ab	19,60bc	3,07	p<0,001
C18:1 n-9c	33,83a	32.96a	31,79a	32,37a	3,44	NS
C18:2 n-6t	0.62a	0.89b	0,81b	0,85b	0,11	P<0,001
C18:2 n-6c	0,95a	1.59b	1,28ab	1,13a	0,35	P<0,001
C18:3 n-6	0,23a	0.30b	0,27ab	0,27b	0,03	P<0,001
C18:3 n-3	1,42a	1.57ab	1,82ab	1,98b	0,40	P<0,007
C20:4 n-6	0,22a	0.20a	0,19a	0,24a	0,08	NS
C20:5 n-3	0,17a	0.15a	0,12a	0,02a	0,13	P<0,04
C22:5 n-6	0,01a	0.00a	0,00a	0,00a	0,01	NS
C22:5 n-3	0,16a	0.18ab	0,22b	0,22b	0,04	P<0,004
C22:6 n-3	0,02a	0.03a	0.04a	0,02a	0,02	NS
AGS	57,25a	56.47a	57,67a	56,96a	2,91	NS
AGMI	38,32a	38,13a	37,16a	37,71a	3,30	NS
AGPI	4,43a	5,40b	5,17b	5,33b	0,98	P<0,07
n-6	2,22a	3,08b	2,67ab	2,65ab	0,45	P<0,001
n-3	2,15a	2,26a	2,46a	2,58a	0,56	NS
LA/ALA	0,67a	1,01b	0,72a	0,57a	0,15	P<0,001

Chaque valeur est la moyenne de 12 animaux. Les valeurs en ligne affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes
H (humide), SA (semi aride), A (aride), C (concentré),. Sem : Erreur standard de la moyenne

Figure 1: Distribution des isomères trans C18:2 (en %) en fonction du mode d'élevage.



Conclusion.

L'accès au pâturage dans les régions semi arides et arides, comme les hautes plaines, est vraisemblablement favorable à un enrichissement de la viande en acides gras ayant un effet bénéfique pour la santé de l'homme. En raison des interactions possibles entre les différents systèmes d'élevage, d'autres investigations sont nécessaires pour élucider la différence des régimes.

Références bibliographiques

Chilliard Y., Glasser F., Enjalbert F., Ferlay A., Bocquier F., Schmidely P., 2007. Renc, Rec. Rum. 14, 321-328.
Dufey P. A., Collomb M., 2008. 12e JSMTV 169-170.
Folch J., Lees M., Stanley G.H.S., 1957. J. Biol Chem. 226, 497-509.
Givens, D.I., Rymer C., 2005. Lipids, 40, 121-130.
Maene D., Dehareng F., Huneau Davin C., Deswysen G., 2002. Ren. Rech. Ruminants 9: 322.
Morand Fehr P., Tran G., 2001. INRA Productions Animales, 14(5), 285-302.
Morrison, W. R., L. M. Smith. 1964. J. Lipid Res. 5 : 600.
Nürnberg K., Grumbach S., Zupp W., Hartung M., Nürnberg G., Ender K., 2001.. Feishwritschaft 81, 120-122.
Popova T., 2006. Small Ruminant Res 71 : 150-157.

Scollan N., Richardson I., De Smet S., Moloney A.P., Doreau M., Bauchart D., Nürnberg K. 2005. EAAP Publ. n°112. (eds. JF. Hocquette and S. Gigli), 151-162.
Yang A.,Lanari M.C., M. Brewster Tune R.K. 2002 Meat Science 60, 41-50.

EFFET DU SEXE SUR LA BIODISPONIBILITE DES ACIDES GRAS n-3 CHEZ LE PORC

DE SOUSA R. [1], FILLAUT M. [2], ROBIN G. [2], MOUROT J. [2]

[1] Université Fédérale de Lavras, Lavras, MG. Brésil
[2] INRA UMR 1079 SENAH, F-35590 St-Gilles

Introduction.

La qualité nutritionnelle de la viande de porc, pour sa fraction lipidique, dépend à la fois de la quantité de lipides de la viande et de la qualité des acides gras composants ces lipides. Si la quantité de lipides est essentiellement en relation avec la génétique, le mode d'élevage et le sexe de l'animal, la qualité des acides gras est principalement en relation avec l'alimentation (Mourot 2009). L'introduction d'acides gras (AG) n-3 dans l'alimentation du porc permet d'augmenter la teneur de cette famille d'AG dans la viande et les produits transformés (Guillevic 2009). Cette démarche correspond aux souhaits de l'AFSSA d'accroître l'apport d'acides gras polyinsaturés (AGPI) n-3 dans l'alimentation humaine (ANC 2001). Les animaux les plus gras apporteront donc davantage d'acides gras n-3 s'ils en ont reçu pendant leur phase d'engraissement. Le développement d'une production de porcs mâles entiers pour éviter la castration (Chevillon 2010) va conduire à des carcasses moins grasses (Barton-Gade 1987) et donc moins riches en AG n-3. De plus, il existe une interférence avec les hormones sexuelles vis-à-vis du métabolisme lipidique (Couillard 1999) qui serait davantage marquée pour les AG n-3 (De Caterina 2001). La biodisponibilité en AG n-3 est moindre chez le hamster mâle par rapport à la femelle, animaux utilisés comme modèle de l'homme (Morise 2006).
On peut donc se demander ce qu'il en sera du dépôt des acides gras n-3 chez le porc mâle entier par rapport à la femelle et au porc mâle castré, peu de données étant disponibles actuellement sur ce sujet.

Matériel et méthodes.

Des porcs croisés issus de truies Landrace - Large-White X Piétrain ont reçu entre 50 et 105 kg un régime identique, contenant 4 % de lipides dont 2 % apportés par des graines de lin extrudées, sources de C18 :3 n-3 (ALA) (Tradi-Lin®). Les animaux étaient de sexes mâle entier (ME), femelle (F) ou mâle castré (MC) à raison de 8 porcs par lot. Ils ont été élevés en loge individuelle avec un suivi régulier de leur consommation et de leur poids. A l'abattage, les mesures traditionnelles de classement des carcasses et de paramètres de qualité de la viande ont été effectuées, Une côte a été prélevée à la découpe. La teneur en lipides totaux a été déterminée par la méthode de Folch (1957). Le profil en AG a été déterminé par chromatographie en phase gazeuse, après saponification et méthylation des lipides, selon Morrison (1964). Les résultats sont analysés par analyse de variance en prenant le sexe comme facteur principal.

Résultats et discussion.

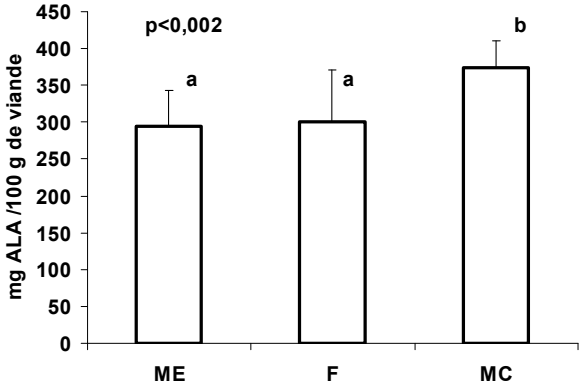
Les performances de croissance ne sont pas significativement différentes entre les animaux. Les résultats de composition en AG concernant la côte de porc entière sont rapportés dans le tableau1.
Tableau 1: Effet du sexe sur la teneur en lipides (g/100g) et la composition en AG de la côte crue (en % des AG identifiés)

sexe	ME	F	MC	Rsd	Effet
Lipides	6,53a	6,46a	8,99b	1,29	P<0,001
AGS	37,23a	36,66a	40,08b	1,84	P<0,002
AGM	39,49	40,18	40,37	1,51	NS
AGPI	23,28a	23,16a	19,55b	1,79	P<0,001
C18:2 n-6c	14,07a	14,15a	11,84b	1,11	P<0,001
C18:3 n-3	5,75a	5,48ab	4,90b	0,47	P<0,006
C20:5 n-3	0,28a	0,29a	0,20b	0,05	P<0,01
C22:5 n-3	0,39a	0,40a	0,33a	0,05	P<0,07
C22:6 n-3	0,08ab	0,10a	0,06b	0,01	P<0,002
n-3	7,62a	7,39a	6,49b	0,58	P<0,002
n6/n3	1,98ab	2,05a	1,93b	0,07	P<0,01

Les valeurs en ligne avec une lettre identique ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

La teneur en lipide de la côte est plus élevée chez le porc mâle castré que chez les autres porcs ce qui est conforme aux autres études. Le sexe induit des effets sur le pourcentage de certains acides gras. La somme des AG saturés est moins importante chez les porcs mâles entiers et les femelles que chez les castrés ($p<0.002$).
A l'inverse les porcs castrés ont moins d'AGPI. Il n'existe pas de différence significative au seuil de 5 % entre les mâles entiers et les femelles pour les AG précurseurs en n-6 et n-3, mais les mâles castrés sont différents. Concernant les dérivés AGPI longue chaîne (LC) n-3, ils sont en proportion plus élevés chez les mâles entiers et les femelles que chez les castrés.
Lorsque les valeurs des AG sont exprimées en quantité, il apparaît que les porcs castrés, même s'ils ont une proportion plus faible d'AG n-3, apporteront dans l'assiette du consommateur une quantité plus élevée d'AG n-3 (figure1). Ceci est un aspect positif pour la santé humaine. D'un autre côté, les porcs mâles castrés apporteront aussi davantage d'AG saturés (3,07 g pour les castrés *vs* 2,03 g pour les femelles et 1,9 g pour les mâles entiers par 100 g de viande ; $p<0,002$) et ceci peut-être considéré comme négatif pour la santé humaine

Figure 1 : Effet du sexe sur la teneur en ALA de la côte de porc (en mg d'ALA pour 100 g de viande)



Les différences de biodisponibilité entre porc mâle entier et femelle ne sont pas retrouvées dans notre étude contrairement à ce qui a été observé chez l'homme ou le hamster. Dans ces études, les sujets ou animaux étaient adultes or dans notre cas, on peut considérer que ces porcs ne sont pas encore adultes, ce qui peut expliquer les différences avec les autres études. Toutefois, les résultats observés au niveau du foie laissent apparaître des différences entre les teneurs des AGPI-LC n-3 (résultats non rapportés) entre mâle entier et femelle. Or le foie est connu pour être le lieu principal pour l'élongation et la désaturation des AGPI-LC, ceci peut donc être un indicateur pour montrer qu'il existera chez le porc adulte une différence entre le mâle et la femelle comme chez les autres espèces.

Conclusion

Au stade d'abattage de 105-110 kg, le porc mâle castré ayant reçu un régime enrichi en acides gras n-3 présente dans sa viande une teneur en AG n-3 totaux supérieure de 20 à 25 % à celle des porcs mâles entiers et des femelles. Il serait intéressant d'étudier ce qui se passe chez le porc lourd où le mâle entier pourrait présenter une teneur plus faible en AG n-3 par rapport au porc mâle castré et à la femelle. Mais cette production de porc lourd entier n'est peut-être pas compatible avec les risques d'odeurs sexuelles et elle a donc peu de probabilité de se généraliser. Néanmoins, les études comparatives entre sexes pour étudier les mécanismes de désaturation des AGPI-LC n-3 seront certainement à développer.

Références bibliographiques

AFSSA, 2001, ANC, AFSSA, CNERVA, CNRS, Coord, A, Martin, (650 p), Paris, éditions Tec & Doc,
Barton-Gade P.A., 1987. Livest. Prod. Sci., 16, 187-196
Chevillon P., Guingand N., Courboulay V., Quiniou N., Bonneau M., 2010. Journ. Rech. Porcines, 42, 189-196
Couillard C., Bergeron N., Prud'homme D., Bergeron J., Tremblay A, Bouchard C., Mauriege P., Despres J.P., 1999. Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol. 19, 2448–2455
De Caterina R., Zampolli A., 2001. Lipids, 36, 69–78
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509
Guillevic M., Kouba M., Mourot J., 2009. Meat Science, 81, 612-618
Morise A., Mourot J., Boué C., Combe N., Amsler G., Gripois D., Quignard-Boulangé A., Yvan-Charvet L., Fénart E., Weill P., Hermier D., 2006. Brit. J. Nut., 95, 709-720
Morisson W., Smith L., 1964. J. Lipid Res., 5, 600-608
Mourot J., Lebret B., 2009. INRA Prod. Anim., 22, 33-40

QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE TROIS SOUCHES DE POULETS FERMIERS PRODUITE SUR PARCOURS : TENEUR EN LIPIDES ET COMPOSITION EN ACIDES GRAS

MATHLOUTHI N.[1], MAJDOUB-MATHLOUTHI L.[2], ELAYEB H.[1], BEN HAMMOUDA M.[1], BERGAOUI R.[3]

[1]Ecole Supérieure d'Agriculture du Kef, Tunisie ; [2]Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, Sousse, Tunisie ; [3]Institut National Agronomique de Tunisie, Tunisie

Introduction

L'élevage intensif du poulet de chair permet d'avoir des niveaux de production élevés et il assure l'approvisionnement du marché en quantité importante de viande de poulet. Néanmoins, ce système d'élevage constitue une nuisance pour l'environnement (pollution du sol, de l'eau et de l'air) et il n'offre pas au consommateur une viande de qualité. Par ailleurs, le développement de l'agriculture de conservation dans de nombreux pays, y compris la Tunisie, permet de conserver le sol et l'eau et de réduire les émissions de carbone tout en gardant des niveaux de productions de céréales similaires à ceux de l'agriculture conventionnelle. L'intégration de l'aviculture dans l'agriculture de conservation doit passer par la recherche d'un système alternatif à l'élevage intensif du poulet de chair. L'élevage de poulets fermiers, à croissance lente, sur parcours s'intègre parfaitement à l'agriculture de conservation puisqu'il permet de fertiliser le sol (fientes riches en N, P et K) et de produire une viande de meilleure qualité que le poulet standard, à croissance rapide, élevé en système intensif (Ponte 2008 a). L'objectif de la présente étude est d'évaluer la composition en acides gras de la viande de trois souches de poulets fermiers élevés sur parcours dans la région de Tinja, au nord de la Tunisie.

Matériel et Méthodes

Cent cinquante poulets fermiers mâles et femelles de type Sasso, appartenant à trois souches T88, T44NI et T77N et d'un âge de 47 jours et d'un poids moyen de 0,987 ± 0,126 kg sont élevés sur un parcours situé dans la région de Tinja (Bizerte, Tunisie). Le parcours de la région de Tinja appartient à l'étage bioclimatique humide et il est composé essentiellement des plantes suivantes : *Loilium rigidum*, *Avena sterilis*, *Chrysanthemum coronarium* et *Papaver rhoeas*. Les poulets fermiers sont logés dans une cage mobile sans plancher, de dimensions 3 x 5 x 2 m. La densité utilisée est de 10 poulets par m^2. La cage est déplacée chaque semaine pour que les poulets bénéficient d'une nouvelle végétation. Les animaux ont reçu également du concentré commercial à volonté (70 % maïs, 26 % tourteau de soja et 4 % CMV) destiné à l'élevage du poulet fermier. Les poulets sont abattus à l'âge de 103 jours avec un poids moyen de 2,969 ± 0,359 kg. Des échantillons du muscle du bréchet sont prélevés 24 heures post mortem et congelés à -20°C pour l'analyse de la teneur en matière grasse (Folch, 1957) et de la composition en acides gras par chromatographie en phase gazeuse à ionisation de flamme, sur colonne capillaire (OMEGAWAX 250) et avec l'hydrogène comme gaz vecteur. Les données sont analysées par analyse da variance selon un modèle GLM à un facteur (Souches). Le poids à l'abattage a été pris comme covariable lors de l'analyse statistique. Les données sont présentées sous forme de moyennes ajustées.

Résultats et discussion

Les trois souches de poulets fermiers ont les mêmes teneurs en gras intramusculaire (2,93 g / 100 g muscle frais). De même les pourcentages des acides gras saturés, mono-insaturés et polyinsaturés ne diffèrent pas en fonction des trois souches (Tableau 1). Néanmoins, le pourcentage le plus faible ($P < 0,01$) en acides gras insaturés a été enregistré chez la souche T77N par rapport aux autres souches T44NI et T88 (62,86 *vs.* 65,52 et 64,65 %, respectivement). Cette différence entre les souches n'a pas affecté le rapport insaturés / saturés. Il est en moyenne de 1,79 %. En outre, les résultats de la présente étude montrent que les pourcentages d'oméga 6 (22,18 %), d'oméga 3 (1,33) et le rapport oméga 6 / oméga 3 (17,33) sont semblables pour les trois souches de poulets fermiers. Par ailleurs, le rapport LA / ALA (30,82) n'a pas été affecté par la nature de la souche.

Ainsi, les résultats obtenus dans la présente étude montrent que le profil en acides gras dans la viande du bréchet du poulet fermier n'a pas été affecté par la souche. Ponte (2008 a) ont rapporté un effet souche significatif sur la composition en acides gras en comparant des poulets de chair standard (Ross) à croissance rapide à des poulets fermiers à croissance lente (Lab). Cependant, leur comparaison est biaisée par l'effet du système alimentaire et peu de données sont disponibles sur l'effet strict de la souche. L'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique représentent la part la plus importante des acides gras. Le rapport polyinsaturés/saturés (0,68) est supérieur à la valeur recommandée en nutrition humaine (0,43 ; McAfee 2010) et tout à fait en accord avec les valeurs trouvées (Ponte 2008 a) pour des poulets recevant de l'aliment concentré et ayant un accès au pâturage. Quant aux rapports oméga 6 / oméga 3 et LA/ ALA, ils restent encore élevés malgré l'accès des animaux au pâturage Ponte (2008 b). Ceci pourrait être attribué à l'accès limité des poulets fermiers au pâturage. Une restriction en aliment concentré et un accès plus important à la verdure pourrait améliorer davantage le profil en acides gras et notamment l'apport en ALA, DHA et EPA. De façon générale, il a été rapporté par plusieurs auteurs que les poulets ayant accès au pâturage ont une viande de meilleure qualité nutritionnelle, plus riche en EPA, que ceux élevés dans le bâtiment, sans accès au pâturage (Ponte 2008 a).

Tableau 1 : Teneur en matière grasse et composition en acides gras (en % des AG identifiés) dans le muscle du bréchet

Acides gras (%)	**Souches de poulets fermiers**			**SEM**	**Probabilité**
	T44NI	T77N	T88		
Matière grasse (g/100g muscle frais)	2,37	2,02	4,40	0,44	NS
C14: 0 (Myristique)	0,58	0,72	0,63	0,03	NS
C15: 0 (Pentadécanoïque)	0,09	0,09	0,10	0,005	NS
C16: 0 (Palmitique)	26,15	26,16	25,66	0,24	NS
C17: 0 (Margarique)	0,12	0,11	0,12	0,004	NS
C18: 0 (Stéarique)	8,27	8,72	7,98	0,35	NS
C20: 0 (Arachidique)	0,07	0,08	0,12	0,01	NS
C14: 1 (Myristoléique)	0,13	0,10	0,16	0,01	NS
C16: 1 (Palmitoléique)	4,68	4,08	5,28	0,31	NS
C17:1 (Heptaécénoïque)	0,07	0,08	0,07	0,005	NS
C18: 1 (Oleique)	33,71	33,43	36,33	0,67	NS
C20:1 (Gadoléique)	0,28	0,26	0,38	0,02	NS
C18: 2n-6 (Linoléique, LA)	18,59	17,31	18,59	0,40	NS
C18: 3n-3 (Alpha linolénique, ALA)	0,57	0,57	0,70	0,04	NS
C18:2 conj (CLA)	0,07	0,12	0,09	0,01	NS
C20: 2n-6 (Eicosadiènoïque)	0,41	0,31	0,22	0,03	NS
C20: 3n-6 (Eicosatriènoïque)	0,40	0,43	0,22	0,05	NS
C20: 4n-6 (Arachidonique)	3,62	3,82	1,42	0,58	NS
C20: 5n-3 (EPA)	0,03	0,07	0,08	0,01	NS
C22: 5n-3 (DPA)	0,27	0,44	0,17	0,05	NS
C22: 5n-4 (Héneicosapentaènoïque)	0,28	0,29	0,04	0,05	NS
C22: 5n-6 (Clupanodonique)	0,80	0,81	0,30	0,11	NS
C22:6n-3 (DHA)	0,38	0,43	0,20	0,08	NS
Acides gras saturés	36,84	36,37	35,30	0,80	NS
Acides gras mono-insaturés	38,74	37,83	42,06	0,96	NS
Acides gras polyinsaturés	26,78	25,02	22,59	1,09	NS
Acides gras insaturés	65,52[a]	62,86[b]	64,65[ab]	0,66	***
Insaturés / saturés	1,79	1,73	1,84	0,03	NS
Polyinsaturés / saturés	0,72	0,68	0,64	0,02	NS
Oméga 6	23,50	22,48	20,55	0,61	NS
Oméga 3	1,26	1,54	1,18	0,09	NS
Oméga 6 / oméga 3	19,48	14,78	17,73	0,94	NS
C18:2 n-6 (LA) / C18:3 n-3 (ALA)	33,36	32,22	26,88	1,84	NS

NS : Différence non significative ; * : Différence hautement significative (P < 0,01)**

Conclusion

Elevée en cage mobile avec un accès au pâturage, la souche du poulet fermier n'affecte pas le profil en acides gras de la viande du bréchet.

Références bibliographiques

Folch J., Lees M., Stanley G.H.S., 1957. J. Bio. Chem. 226, 497-509.

McAfee A.J., McSorley E.M., Cuskelly G.J., Moss B.W., Wallace J.M.W., Bonham M.P., Fearon A.M., 2010. Meat Sci. 84, 1-13.

Ponte P.I.P., Alves S.P., Bessa R.J.B., Ferreira L.M.A., Gama L.T., Brás J.L.A., Fontes C.M.G.A., Prates J.A.M., 2008 a. Poult. Sci., 87, 80-88.

Ponte P.I.P., Prates J.A.M., Crespo J.P., Crespo D.G., Mourão J.L., Alves S.P., Bessa R.J.B., Chaveiro-Soares M.A., Ferreira L.M.A., Fontes C.M.G.A., 2008 b. Poult. Sci. 87, 1587-1594.

UN APPORT EN GRAINES DE LIN EXTRUDEES CHEZ LE POULET ET LA DINDE PARTICIPENT A L'AMELIORATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE

GUILLEVIC M.[1], MAIRESSE G. [1], WEILL P.[2], GUIBERT J.M.[3], CHESNEAU G.[1]
[1] VALOREX, La Messayais, 35210 Combourtillé
[2] BLEU-BLANC-CŒUR, La Messayais, 35210 Combourtillé
[3]TERRENA NA, La Noëlle, 44155 Ancenis

Introduction

Les facteurs d'élevage influencent fortement la qualité de la viande, notamment nutritionnelle (Mourot 2008). Ces facteurs sont liés à la génétique (race, souche), à la physiologie (sexe, âge à l'abattage, castration), aux pratiques d'élevage (alimentation, conduite, plein air, …) (Lessire 2001). Globalement, c'est en jouant sur ce dernier, et notamment sur l'alimentation, que la qualité nutritionnelle de la viande peut être influencée. Dans un contexte d'amélioration nutritionnelle des produits, par l'introduction de sources naturelles en acides gras (AG) n-3 dans les aliments destinés aux animaux, que cette stratégie présente tout son intérêt puisque la consommation de volailles représente en France 24,5 kg / habitant / an (Office de l'élevage 2008). La consommation de viande de poulet et de dinde représente, respectivement, 56,4 % et 22,1 % de la consommation de volaille. Ainsi, pour répondre aux recommandations émises par l'AFSSA (ANC, 2010) d'avoir un apport quotidien de 2,2 g de C18:3 n-3 et un rapport C18:2 n-6/ C18:3 n-3 égal à 4, nous avions pour objectif d'étudier l'effet d'une alimentation, de poulet à souche rapide et de dinde, à base de graines de lin extrudées, sur la qualité nutritionnelle de leur viande.

Matériel et méthodes

L'essai a été mené sur des poulets à souche rapide ainsi que sur des dindes. Les deux groupes de volailles sont mis en lot selon la nature des régimes : *Lin (L)* pour les régimes à base de graines de lin extrudées Tradilin® et *Contrôle* (C) pour les régimes standards. Les aliments étaient formulés de façon à être iso-nutritionnels. Les séquences de distribution ainsi que la teneur en C18:3 n-3 des différents régimes sont référencés dans le tableau 1. La distribution de ces derniers s'effectue du 10ème au 37ème jour de vie, et du 41ème au 91ème jour de vie, pour les poulets et les dindes, respectivement.

Tableau 1 / Teneur en C18:3 n-3 des régimes expérimentaux poulet et dinde.

	Régime poulet		**Régime dinde**	
	C	**L**	**C**	**L**
Croissance	0,11%	0,68 %	0,07%	0,40 %
Engraissement	0,07%	0,76 %	0,08%	0,40 %
Finition	0,06 %	0,80 %	0,09%	0,55 %

A la fin de l'essai, les volailles sont abattues. Une partie des filets (n=6 / lot / espèce) ainsi que leurs cuisses (n=6 / lot / espèce) sans peau, sont prélevés pour déterminer la teneur en lipide ainsi que sa composition en acides gras. L'extraction des lipides est effectuée selon la méthode de Folch (1957) et la composition en acides gras est déterminée en chromatographie en phase gazeuse après dérivation en esters méthyliques (Morrison 1964). Une analyse de variance a été réalisée pour comparer l'effet régime et en cas de résultats significatifs, une comparaison de moyennes a été réalisée (test de Bonferroni).

Résultats

Les résultats des teneurs en lipides et de la composition en acides gras des cuisses et filets de dindes et de poulet sont visibles dans le tableau 2.

Les teneurs en lipides des différents tissus de poulets et de dindes ne sont pas significativement influencées par la nature des régimes. Il existe cependant une différence associée à la nature des tissus. Les filets sont moins riches en lipides que les cuisses, quel que soit l'espèce considérée.

Les proportions en acides gras saturés et monoinsaturés (AGM) ne sont globalement pas significativement influencées, dans le cadre de cet essai, par la nature des régimes alloués. Ceci, à l'exception des cuisses de poulet ayant consommés des graines de lin extrudées où la proportion en AGM diminue significativement ($p<0,05$).
La proportion en acides gras polyinsaturés (AGPI) est significativement influencée par la nature des régimes, avec globalement une hausse de la proportion de cette dernière. La fraction des acides gras n-3 est significativement plus importante dans le cas où les animaux consomment les aliments du lot *lin*. Ceci s'exprime, simultanément, par une baisse des AGPI n-6 et une hausse des AGPI n-3.

Dans le cas du poulet, la teneur en AGPI n-3 augmente de 2,3 fois dans la cuisse ($p<0,001$) et de 2,1 fois dans le filet ($p<0,001$). Cette hausse s'explique par une très large augmentation du précurseur C18:3 n-3 dans la cuisse (+128 %,

p<0,001) et dans le filet (+88 %, p<0,01) mais aussi des dérivés à longue chaine avec une hausse globale, pour la cuisse de 200 % (p<0,01) et pour le filet de 27 % (p<0,05).

Dans le cas de la dinde, les observations sont globalement les mêmes avec une hausse des AGPI n-3 totaux de la cuisse (+131 % ; p<0,001) et du filet (+141 % ; p<0,001) s'observant tant à la fois par une hausse du précurseur (cuisse : +137 %, p<0,001 ; filet : +133 %, p<0,001) que des dérivés (cuisse : + 20%, p<0,05 ; filet : +80 %, p<0,01).

Le rapport C18:2/C18:3 est systématiquement diminué de manière significative (p<0,001) quel que soit l'espèce considérée ainsi que le tissu caractérisé. Chez le poulet comme la dinde, ce rapport diminue au point de rejoindre les recommandations des ANC.

Tableau 2 : Teneur en lipide et composition en acides gras de cuisse et de filet des poulets et des dindes mis en essai.

	Poulet						**Dinde**					
	Cuisse			Filet			Cuisse			Filet		
	C	*L*		*C*	*L*		*C*	*L*		*C*	*L*	
Lipides (g/100g)	9,3	8,9		1,6	1,9		4,1	4,2		0,6	0,9	
AGS	29,4	28,2		29,1	30,2		29,3	29,1		32,2	31,4	
C16:0	22,3	21,1		20,8	21,2		21,4	20,9		21,7	20,9	
AGM	51,6	47,0	*	46,8	43,8		37,3	39,6		32,2	35,6	
C18:1	44,6	41,1	**	41,6	39,5	†	30,6	35,0	**	28,0	32,1	**
AGPI	18,9	24,8	*	24,2	26,0		33,6	31,6	**	35,6	33,1	**
série n-3	2,0	4,7	***	3,2	5,2	**	3,2	7,4	***	2,9	7,0	***
C18:3	1,8	4,1	***	1,8	3,4	**	2,7	6,4	***	2,1	4,9	***
C20:5	0,0	0,1	†	0,3	0,3		0,1	0,2	†	0,2	0,5	*
C22:5	0,1	0,2	†	0,5	0,7	*	0,3	0,5	*	0,4	1,0	*
C22:6	0,1	0,2	†	0,5	0,6	†	0,1	0,2	†	0,2	0,5	†
série n-6	16,7	20,0	†	20,8	20,6		30,2	24,0	**	32,4	25,9	***
C18:2	15,8	19,0	*	17,4	18,1		27,2	21,7	***	27,9	21,6	***
C20:4	0,5	0,6		1,9	1,5		1,9	1,5	*	2,8	2,8	
C18:2/C18:3	8,8	4,6	***	9,7	5,4	***	10,1	3,4	***	13,3	4,5	***

Les résultats sont exprimés en pourcentages des acides gras totaux
C : régime contrôle ; L : régime lin ; AGS : acides gras saturés ; AGM : acides gras monoinsaturés ; AGPI : acides gras polyinsaturés
† : p<0,10 ; * : p<0,05 ; ** : p<0,01 ; *** : p<0,001

Conclusion

Cet essai a mis en évidence qu'il était possible de modifier la qualité nutritionnelle de la viande de volaille, par l'alimentation, au travers le poulet ainsi que la dinde. Ainsi, dans le cadre de cet essai, consommer 100 g de cuisse de dinde permet de couvrir environ 12% des recommandations de l'AFSSA, contre une cuisse de dinde standard qui n'apporte qu'environ un vingtième des ANC. Ceci montre d'une part que les animaux de rente type poulet et dinde constituent de bons vecteurs de ces acides gras jugés bons pour la santé, et d'autre part, qu'une cuisse ou qu'un filet ne peut, à lui tout seul, couvrir entièrement nos besoins quotidiens. Nos résultats militent pour une notion de menu plutôt que pour un aliment unique.

Références

ANC, 2010. AFSSA-Saisine n°2006-SA-0359.
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 233, 311-320.
Lessire M., 2001.. INRA Prod Anim 14, 365-370.
Morrison W. R., Smith L. M., 1964. J. Lipid Res., 5, 600-608.
Mourot J., Chesneau G., 2008. Modification de la qualité nutritionnelle des produits animaux. 3ème journée CEREL, Rennes, 3 et 4 juillet 2008, 14-23.
Office de l'élevage, 2008. Filière avicole. 15 pp.

EFFET DE L'APPORT DE GRAINES DE LIN DANS LE REGIME SUR LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE LAPIN.

BENATMANE F.[1], KOUBA M.[2, 3], FILLAUT M.[2], ROBIN G.[2], MOUROT J.[2]
[1] Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Département d'Agronomie, BP17, Tizi-Ouzou 15000, Algérie
[2] INRA, UMR 1079 SENAH, F-35590 Saint-Gilles
[3]Agrocampus Ouest, UMR 1079 SENAH, F-35042 Rennes cedex

Introduction.

La viande de lapin a une image positive dans le monde médical car elle est réputée pour être peu grasse. Ceci est en partie vrai quand on compare la teneur en lipides d'un muscle paré comme le *longissimus dorsi* qui contient moins de 2% de lipides contre 4 à 5 % pour un muscle équivalent chez le bovin viande, mais la teneur en lipides augmente fortement lorsque l'on considère les pièces de découpe vendues en barquette comme la gigolette ou le râble où les teneurs en lipides dépassent 8 à 10 % (Ouhayoun 1989).
Comme tous les animaux monogastriques, la qualité nutritionnelle des acides gras (AG) déposés dans la viande de lapin est en relation avec la nature des lipides que cet animal ingère (Mourot, 2010). L'aliment standard du lapin comporte un part importante de luzerne ce qui induit une teneur élevée en acides gras n-3 dans la viande (Combes, 2004) et un rapport C18:2 n-6/C18 :3 n-3 plus bas que chez les autres animaux monogastriques. Comme pour la plupart des autres espèces animales, des études sont conduites pour essayer d'augmenter la teneur en acides gras n-3 dans la viande de lapin pour répondre aux souhaits de l'AFSSA qui, par les ANC (2001) (ainsi que la nouvelle version de 2010), recommandent en alimentation humaine de consommer davantage d'acides gras n-3. Même si la viande de lapin ne représente pas une part importante dans la consommation des produits carnés, une augmentation de la teneur en AG n-3 de cette viande peut contribuer à apporter davantage de ces AG dans l'alimentation humaine. Des études précédentes (Collin 2005 ; Kouba 2008) ont montré qu'il était possible d'augmenter la teneur en AG n-3 en introduisant des graines de lin extrudées riches en AG n-3 dans l'aliment de ces animaux. La teneur est multipliée par 3 à 4 selon les études, mais il apparaît que c'est essentiellement le précurseur, l'acide linolénique C18:3 n-3 (ALA) qui est retrouvé dans la viande, les acides gras à longue chaîne n-3 (AGPI-LC) étant peu augmentés comme l'EPA (C20:5 n-3) ou le DPA (C22:5 n-3) ou inchangés comme le DHA (C22:6 n-3). Ceci confirme donc la faible capacité de désaturation en AGPI-LC du lapin, comme chez la plupart des animaux terrestres ou aquatiques (Alessandri 2009).
L'objectif de cette communication est de présenter un bilan d'études réalisées dans le cadre d'un programme soutenu par le pôle de compétitivité VALORIAL en partenariat avec un industriel de la filière cunicole et de comparer l'efficacité des dépôts des AG n-3 en fonction de l'apport dans l'aliment selon la pièce de découpe ou la carcasse.

Matériel et méthodes.

Les animaux sont issus d'élevages certifiés. Ils ont reçu des aliments contenant plus ou moins de précurseur n-3 (ALA) apportés par la luzerne et par des graines de lin extrudées (Tradi-Lin®). Ce bilan est réalisé à partir de 5 études différentes dans lesquelles 9 régimes ont été testés. Les teneurs variaient entre 1,5 et 6,8 g d'ALA par kg d'aliment. Les consommations d'aliment ont été relevées pour les animaux ce qui a permis de déterminer la consommation globale d'ALA pendant la période de distribution des régimes. Un total de 180 lapins a été analysé. Les carcasses sont découpées en gigolette, râble et cuisse. La teneur en lipides totaux sur les morceaux a été déterminée par la méthode de Folch (Folch 1957). Le profil en AG a été déterminé par CPG, après saponification et méthylation des lipides, selon Morrison et Smith (1964). Une corrélation est établie entre la quantité d'ALA, EPA, DPA et DHA contenue dans chaque morceau de découpe en fonction de la quantité d'ALA ingéré par l'animal. Ces corrélations sont aussi établies pour tous les AG et la teneur en lipides totaux.

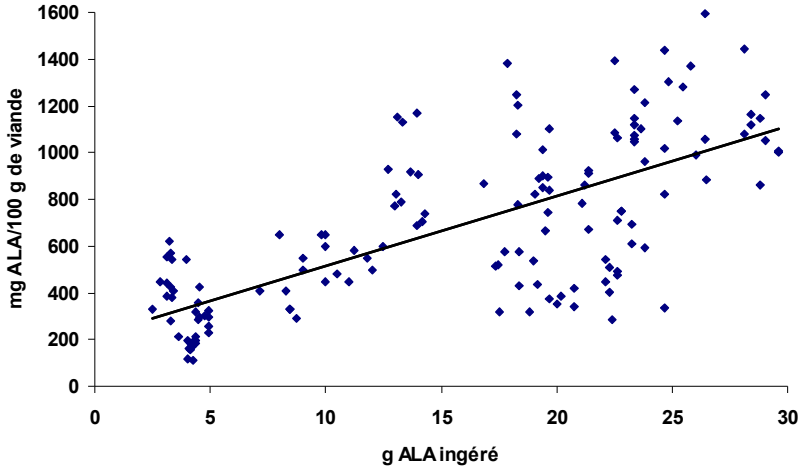
Résultats et discussion.

Il n'existe pas de corrélation entre la teneur en lipides totaux des morceaux et la quantité d'ALA ingéré. Il en est de même pour les AG saturés totaux ou le C18:2 n-6. Le poids de carcasse des animaux n'étant pas différent selon les traitements (résultats non rapportés), il ne semble donc pas exister d'effet de l'apport d'acides gras n-3 sur les performances de croissance des animaux ni sur la composition corporelle.
En revanche, des corrélations plus ou moins fortes existent pour les AG n-3, surtout ALA et DPA. Les équations des droites et leur signification sont rapportées dans le tableau 1 et un exemple de distribution est en figure 1.

Tableau 1 : Equation des droites de corrélations entre la quantité totale d'ALA ingéré (en g) et la teneur en AG n-3 (mg/100 g de viande) des différents morceaux de découpe.

	équation	R^2	effet	équation	R^2	effet
	ALA			EPA		
Cuisse	9,403x + 39,74	0,54	P<0,001	0,119x + 2,06	0,27	P<0,01
Gigolette	30,09x + 211	0,50	P<0,001	0,226x + 6,45	0,04	NS
Râble	32,83x + 183	0,57	P<0,001	0,246x + 3,17	0,12	NS
	DPA			DHA		
Cuisse	0,4629x + 7,57	0,42	P<0,001	0,0667x + 2,28	0,08	NS
Gigolette	0,634x + 9,35	0,19	NS	0,0962x + 2,83	0,11	NS
Râble	0,86x + 6,77	0,57	P<0,001	0,0496x + 1,67	0,12	NS

Figure 1 : Relation entre la teneur en ALA ingéré durant la période d'engraissement (en g) et la quantité d'ALA (en mg/100 g de viande) déposé dans la gigolette.



Pour l'ensemble des études, les teneurs en ALA déposées dans la cuisse variaient entre 28 et 530 mg /100 g de viande. Pour, la gigolette, ces teneurs variaient entre 100 et 1590 mg, et pour le râble entre 90 et 1510 mg.
Les teneurs en ALA sont en relation avec la teneur en lipides totaux du morceau, le % d'ALA exprimé par rapport aux acides gras totaux étant peu différent entre les morceaux. Cette étude confirme aussi la faible capacité de désaturation et d'élongation en AGPI-LC n-3 à partir du précurseur n-3 chez le lapin.

Conclusion.

Il est possible d'augmenter la teneur en AG n-3 de la viande de lapin par un enrichissement de son régime en ALA. Avec les doses utilisées, les équations de dépôt semblent linéaires, et nous n'observons pas de plateau dans le dépôt du précurseur n-3. Il est donc possible d'en introduire davantage dans l'alimentation du lapin pour en accroître la teneur dans la viande. Toutefois, cette observation sera à moduler en fonction de l'aspect économique de production de cette viande.

Références bibliographiques.

AFSSA, 2001. ANC, AFSSA, CNERVA, CNRS. Coord. A. Martin. (650 p), Paris, éditions Tec & Doc.
Alessandri JM., Extier A., Astorg P., Lavialle M., Sion N., Guesnet P. 2009. Nutr. Clin. Metab 23, 55-66
Combes S., 2004. INRA Productions Animales 17, 373-383.
Collin M., Raguenes N., Le Berre G., Charrier S., Prigent A.Y., Rerin G. 2005, 11 èmes Journées Recherche Cunicole, 29-30 novembre, Paris
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Kouba M., Benatmane F., Blochet J.E., Mourot J. 2008 Meat Sci. 80, 829-834.
Morisson W., Smith L., 1964. J. Lipid. Res., 5, 600-608.
Mourot J., 2010 OCL, 17, 37-42
Ouhayoun J., Delmas D., 1989. Cuni-Sciences5, 1-6

Remerciements. Les auteurs remercient le Pôle de Compétivité Valorial et la Société Bretagne lapins

PREVENTION DE L'OXYDATION DES LIPIDES DE LA VIANDE DE PORC ENRICHIE EN ACIDES GRAS N-3 PAR L'AJOUT D'ANTIOXYDANTS NATURELS DANS LA RATION

MAIRESSE G., BENET M., MOUROT J.

INRA, UMR1079 SENAH, 35590 Saint-Gilles

Introduction

L'intérêt protecteur des acides gras polyinsaturés (AGPI) de la famille n-3 vis-à-vis de certaines pathologies (baisse des risques de cardiopathie ischémique, de mort subite, actions anti-inflammatoires, anti-agrégantes, anti-arythmiques,…) est à l'heure actuelle, largement accepté par la communauté scientifique (Lecerf, 2010). Face à ce constat, et d'après les derniers Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) publiés par l'AFSSA, il est recommandé d'augmenter sa consommation en AGPIn-3 tout en maintenant un rapport acide linoléique/alpha-linolénique (LA/ALA, acides gras essentiels et précurseurs respectifs des acides gras de la famille n-6 et n-3) strictement inférieur à 5 (ANC, 2010). Afin de satisfaire à ces recommandations, l'une des stratégies consiste à accroitre les teneurs en AGPIn-3 dans les produits animaux, via leur alimentation (Woods 2009). Cependant, à des doses élevées, ces AGPIn-3 sont sensibles à la lipopéroxydation. Afin de les protéger, il est possible d'ajouter dans l'alimentation des porcs des solutions antioxydantes. L'antioxydant le plus fréquemment employé en alimentation porcine est la vitamine E (Corino 1999). Cependant, elle est de plus en plus substituée ou complétée par des antioxydants naturels issus de plantes riches en polyphénols. L'objectif de cette étude est ainsi d'évaluer l'efficacité de solutions d'antioxydants naturels sur la préservation des qualités nutritionnelles de différents produits de viande de porc enrichies en AGPIn-3 par l'inclusion dans l'alimentation des porcs charcutiers de graines de lin extrudées, source d'ALA.

Matériel et méthodes

Quatre groupes des 8 porcs mâles castrés [(Large-White X Landrace) X (Piétrain)] (poids initial : 52,6 ± 6,6 kg ; poids final : 109,0 ± 5,6 kg) ont été nourris *ad libitum* avec l'un des 4 régimes. Tous les régimes ont été formulés sur la base d'un aliment standard d'engraissement (2% de lipides, 17% de protéines) auquel a été rajouté 2,5% d'huile de palme (Régime P, 1 groupe) ou 6,3% de graines de lin extrudées (Tradi-Lin®, Valorex) pour 3 groupes : la graine de lin était ajoutée seule (régime L), ou complétée avec 2 sources d'antioxydants d'origine végétale (AOV) différents, AOV1 et AOV2 (régime L+AOV1 et régime L+AOV2). Les 4 régimes sont iso-lipidiques (4,6%) et iso-énergétiques (16,6 MJ/kg). Des côtes de porcs crues, cuites et du jambon cuit issus de ces porcs ont été analysés. Le profil en acides gras des produits a été déterminé par Chromatographie en Phase Gazeuse, après saponification et méthylation des lipides totaux extraits selon la méthode de Folch et al. (1957). La mesure du potentiel de peroxydation a été réalisée pour le jambon cuit et les côtes de porc selon la méthode des TBARS (2-thiobarbituric acid-reactive substances) décrite par Oriani et al. (2001) (cinétique d'oxydation à 0, 60, 120, 200 et 300min). L'ensemble de ces variables ont été soumises à un traitement statistique d'analyse de variance via le logiciel SAS. Les moyennes ont été comparées 2 à 2 selon le test de Bonferroni. Le seuil de significativité a été fixé à 5%.

Résultats et discussion

L'introduction de graines de lin extrudées augmente respectivement d'un facteur 5, 4,5 et 2,7 les teneurs en AGPIn-3 des côtes crues, cuites et du jambon sans affecter les teneurs en lipides des produits, comparativement aux produits du lot P (Tableau 1). L'augmentation des AGPIn-3 touche essentiellement l'ALA mais également le DPA (C22:5n-3). L'EPA (C20:5n-3) et le DHA (C22:6n-3) n'augmentent pas. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Guillevic et al. (2009). En outre, les teneurs en AGPIn-6 ne diffèrent pas entre les produits des différents lots. Ainsi, le rapport LA/ALA des produits issus des porcs nourris avec de la graine de lin extrudée est largement inférieur au rapport recommandé par les ANC (LA/ALA<5).

Le potentiel de peroxydation des produits issus des lots L est supérieur à celui des produits du lot P pour l'ensemble des produits (Figure 1). Cependant, l'ajout d'une solution antioxydante dans l'alimentation des porcs permet de diminuer le risque d'oxydation des côtes de porcs crues et des jambons cuits. Ainsi, les potentiels de peroxydation des côtes crues des lots L+AOV1 et L+AOV2 sont intermédiaires et non significativement différents de ceux des lots P et L. L'ajout d'un AOV dans les rations a donc permis de faire baisser la peroxydabilité des côtes crues. Cependant, cet effet n'est plus retrouvé sur les côtes cuites, la cuisson étant un phénomène qui exacerbe l'oxydation des lipides. L'effet des antioxydants sur la prévention de l'oxydation est plus marqué sur les jambons cuits avec une réduction de 50% du potentiel de peroxydation avec l'AOV1, alors que les effets de l'AOV2 sont limités. Néanmoins, aucun des 2 AOV n'a permis d'atteindre des niveaux de peroxydabilité similaires à ceux du lot P. En outre, l'ajout d'AOV dans l'alimentation des porcs ne modifie pas la composition en acides gras des produits, excepté l'AOV1 dans les côtes crues qui réduit les teneurs en AGPIn-3.

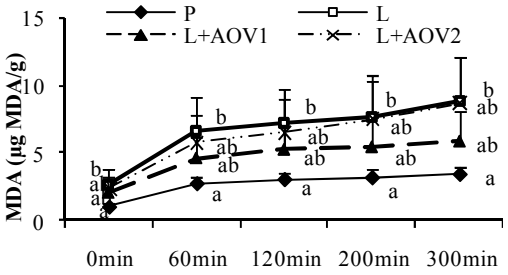
Tableau 1 : Teneurs en lipides totaux (g/100g) et profils en acides gras (% des acides gras totaux) des différents produits.

	P	L	L+ AOV1	L+ AOV2	ETR	Effet
		Côtes crues (n=8/lot)				
Lipides	10,6	10,9	10,0	11,1	3,6	ns
∑AGS	40,4^{b}	37,0^{a}	37,2^{a}	38,3^{a}	2,1	*
∑AGM	45,4^{b}	39,6^{a}	40,6^{a}	39,3^{a}	1,6	***
∑AGPI	14,2^{a}	23,4^{b}	22,3^{b}	22,4^{b}	2,1	***
∑AGPIn-6	11,6	12,3	12,2	12,3	0,9	ns
∑AGPIn-3	2,0^{a}	10,0^{c}	8,5^{b}	8,9^{bc}	0,9	***
LA/ALA	12,5^{b}	1,52^{a}	1,50^{a}	1,79^{a}	0,9	***
		Côtes cuites (n=8/lot)				
Lipides	10,9	14,9	13,5	13,2	3,6	ns
∑AGS	40,4	37,7	38,2	39,2	1,9	ns
∑AGM	45,8^{b}	40,2^{a}	41,0^{a}	39,7^{a}	1,9	***
∑AGPI	13,9^{a}	22,2^{b}	20,7^{b}	21,1^{b}	2,2	***
∑AGPIn-6	11,1	11,7	11,8	11,7	1,0	ns
∑AGPIn-3	2,1^{a}	9,5^{b}	8,2^{b}	8,5^{b}	0,9	***
LA/ALA	12,2^{b}	1,54^{a}	1,85^{a}	1,81^{a}	0,5	***
		Jambon cuit (n=6/lot)				
Lipides	4,4	4,5	4,5	5,1	0,9	ns
∑AGS	35,3	34,4	35,0	35,7	1,4	ns
∑AGM	46,9^{b}	43,1^{a}	44,1^{ab}	43,8^{a}	1,9	*
∑AGPI	17,8^{a}	22,5^{b}	20,8^{ab}	20,6^{ab}	2,4	*
∑AGPIn-6	14,2	14,0	13,6	13,3	1,3	ns
∑AGPIn-3	2,9^{a}	7,8^{b}	6,5^{b}	6,5^{b}	1,0	***
LA/ALA	15,5^{b}	2,3^{a}	2,6^{a}	2,6^{a}	1,5	***

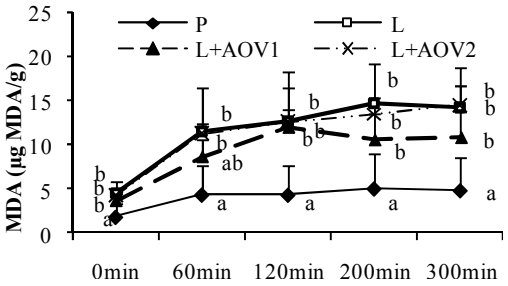
AGS : acides gras saturés, AGM : acides gras monoinsaturés, AGPI : acides gras polyinsaturés, LA : C18:2n-6, ALA : C18:3n-3. ns : P>0,05 ; * : P<0,05 ;** : P<0,01 ; *** : P<0,001.

Figure 1 : Potentiel de lipopéroxydation des produits testés (TBARS, en µg MDA/g tissu)

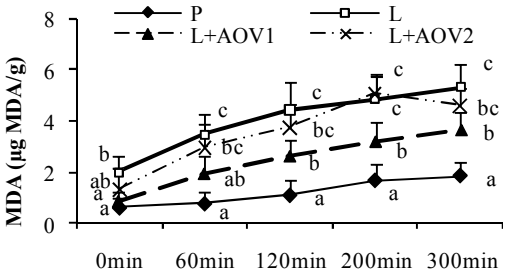
Côtes crues



Côtes cuites



Jambon cuit



Conclusions

L'introduction de la graine de lin dans l'alimentation des porcs constitue un moyen efficace d'augmenter les teneurs en AGPIn-3 de la viande de porc. L'ajout des AOV dans les régimes des porcs charcutiers permet de baisser la peroxydabilité des lipides, excepté pour les côtes cuites, sans modifier profondément le profil en acides gras des produits testés, sauf pour l'AOV1 dans les côtes crues. Cependant, les teneurs en MDA n'atteignent pas celles mesurées dans les produits P.

Références bibliographiques

ANC, 2010. AFSSA-Saisine n°2006-SA-0359.
Corino C., Oriani G., Pantaleo L., Pastorelli G., Salvatori G., 1999. J. Anim. Sci., 77, 1755-1761.
Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Lecerf J.M., 2010. Phytothérapie, 8, 77-83.
Oriani G., Salvatori G., Pastorelli G., Pantaleo L., Ritieni A., Corino C., 2001. J. Nutr. Biochem., 12, 138-143.
Woods V., Fearon A., 2009. Livest. Sci., 126, 1-20.

Remerciements

Les auteurs remercient les sociétés CCPA et PHYTOSYNTHESE pour l'apport des antioxydants d'origine végétale, la société VALOREX pour la mise à disposition des graines de lin extrudées ainsi que l'ADIV pour la transformation des jambons cuits. Merci également à M. Fillaut et à G. Robin pour leur assistance technique.
Ce travail a été mené avec l'appui financier de l'ANR - Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme National de Recherche en Alimentation et Nutrition Humaine, Projet ANR-06-PNRA-018, LIPIVIMUS.

EFFET DE LA DUREE DE DISTRIBUTION DANS LE REGIME D'ANTIOXYDANTS VEGETAUX SUR L'OXYDATION DES ACIDES GRAS DE LA VIANDE DE PORC ET DES PRODUITS TRANSFORMES

MOUROT J. [1], ARTURO-SCHAAN M. [2], FORET R. [2]
[1] INRA UMR 1079 SENAH, 35590 St-Gilles
[2] Groupe CCPA, 35150 Janzé

Introduction

L'amélioration de la qualité nutritionnelle de la fraction lipidique des viandes et des produits transformés peut être obtenue en augmentant la teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) de ces produits et en diminuant la fraction des acides gras saturés. Dans l'alimentation animale, l'utilisation de matière grasse riche en AGPI et plus particulièrement en AG n-3 permet d'augmenter notablement la part de ces acides gras dans la viande (Mourot 2010). Ceci est particulièrement vrai pour la viande de porc et les produits de charcuterie qui en sont issus (Guillevic 2009). Mais ces acides gras n-3 peuvent présenter un risque de peroxydation et conduire à des produits avec des défauts organoleptiques en particulier pour les produits secs (Musella 2009). L'ajout d'antioxydants dans l'aliment des bovins et porcins permet de réduire les risques de peroxydation de ces acides gras dans les viandes produites (Gladine 2007, Mairesse 2010). De nombreuses recherches sont en cours actuellement pour trouver l'antioxydant naturel le plus efficace (seul ou en mélange), en interaction ou non avec la vitamine E et ou le sélénium, pour déterminer la dose d'efficacité. Il semblerait que les effets et les besoins ne soient pas identiques entre les bovins et les monogastriques (résultats du programme ANR LIPIVIMUS). Les antioxydants végétaux (AOV) ayant pour rôle essentiel de régénérer et protéger l'action de la vitamine E, on peut se poser la question de la durée de distribution de ces AOV chez le porc pour préserver la viande de la peroxydation des acides gras. Faut-il les introduire tout au long de la vie de l'animal en même temps que l'enrichissement de l'aliment en acides gras n-3 ou bien sur une période plus courte avant la période d'abattage ? Cette question fait l'objet de cette étude.

Matériel et méthodes

24 porcs mâles castrés, croisés Landrace - Large-White X Piétrain, répartis en 3 lots de 8, ont reçu pendant 2 mois, à partir de 50 kg un régime avec 4 % de lipides contenant 2 % de matière grasse apportée par des graines de lin extrudées (Tradi-Lin®), source de C18 :3 n-3 (ALA). Un lot (AOV0) a reçu ce régime de base, un autre lot (AOV2) a reçu ce même régime contenant un mélange d'AOV (2 kg/t aliment) pendant toute la période d'étude et un troisième lot (AOV4) a reçu le régime de base en début d'étude, puis les 10 derniers jours ce même régime de base supplémenté avec un mélange d'AOV (4kg/t). Les animaux étaient élevés en loge individuelle, avec une alimentation ad libitum contrôlée. Au bout des 2 mois, les animaux ont été abattus le même jour. Divers échantillons de tissu adipeux, de muscles et des côtes entières ont été prélevés pour analyse. A partir de ces viandes, des saucissons ont été fabriqués et mis au séchage pendant 12 semaines. Dans le cadre de cette présentation, seuls les résultats d'analyse sur la bardière et sur le saucisson en fin de séchage sont rapportés. La teneur en lipides totaux a été déterminée par la méthode de Folch (1957). Le profil en AG a été déterminé par chromatographie en phase gazeuse, après saponification et méthylation des lipides, selon Morrison (1964). La mesure du potentiel de peroxydation sur la bardière a été réalisée selon la méthode des TBARS (2-thiobarbituric acid-reactive substances) décrite par Oriani (2001) et la quantité de malondialdéhyde (MDA) dans le saucisson a été mesurée par HPLC selon la méthode de Gladine (2007). Les résultats sont analysés par analyse de variance en prenant la présence d'AOV comme facteur principal, puis sont comparés deux à deux par le test de Bonferoni.

Résultats et discussion

Le pourcentage d'AG n-3, que ce soit en globalité ou pour chacun des AG est supérieur dans la bardière des porcs recevant les AOV uniquement les 10 derniers jours (tableau 1).
Le potentiel de peroxydation est significativement inférieur dans les bardières des porcs recevant les AOV (tableau 2). L'apport pendant une période courte est plus efficace (mais non significativement) qu'un apport durant toute la période. Les AGPI sont donc mieux protégés avec l'introduction des AOV dans le régime.
Après 12 semaines de séchage, le pourcentage d'acides gras n-3 totaux des saucissons est supérieur chez les animaux ayant reçu des AOV et la valeur est la plus élevée ($P<0,001$) pour le lot AOV4 (figure 1). La quantité de MDA retrouvée dans les saucissons est inférieure pour les lots recevant les AOV par rapport au lot sans AOV ($p<0,01$), mais en distinguant les différents lots entre eux, cet effet n'est alors plus significatif en raison des

variations individuelles importantes. La peroxydation est donc plus faible alors que le pourcentage d'acides gras n-3 est supérieur dans ce lot.

Tableau 1 Effet des régimes sur la composition en acides gras du TA du dos (en % des AG identifiés).

lot	AOV0	AOV2	AOV4	rsd	effet
AGS	39,91	39,02	38,86	1,54	NS
AGM	39,07a	39,96ab	37,50b	1,83	P<0,04
AGPI	21,02a	21,02a	23,64b	1,87	p<0,01
C18:2 n-6c	12,85a	12,89a	14,45a	1,24	p<0,02
C18:3 n-3	5,43a	5,49a	6,44b	0,52	p<0,001
C20:5 n-3	0,11	0,12	0,13	0,03	NS
C22:5 n-3	0,21a	0,24a	0,26a	0,03	p<0,05
C22:6 n-3	0,03a	0,03a	0,05b	0,01	p<0,001
n-3	7,03a	7,06a	8,09b	0,63	p<0,004
LA / ALA	2,37a	2,35a	2,24a	0,01	p<0,05

Tableau 2 : Effet des régimes sur l'évolution de la peroxydation des AG mesurées par la méthode des Tbars dans la bardière.

Temps, min	0	60	120	200	300
AOV0	27a	219a	285a	299a	388a
AOV2	31b	126b	169b	202ab	283b
AOV4	6b	96b	149b	185b	265b
effet	P<0,001	P<0,001	P<0,001	P<0,01	P<0,003

Les valeurs en colonne affectées d'une lettre identique ne sont pas différentes au seuil de 5%

Figure 1 : Pourcentage d'acides gras totaux n-3 retrouvé dans les saucissons en fin de séchage

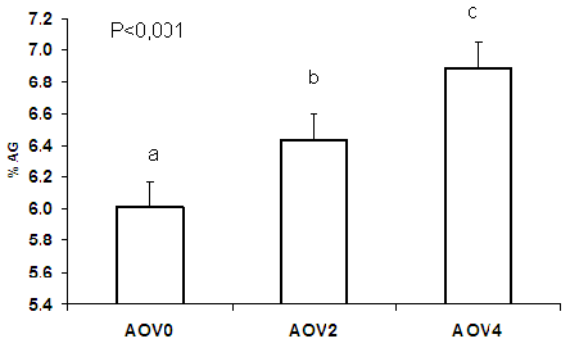
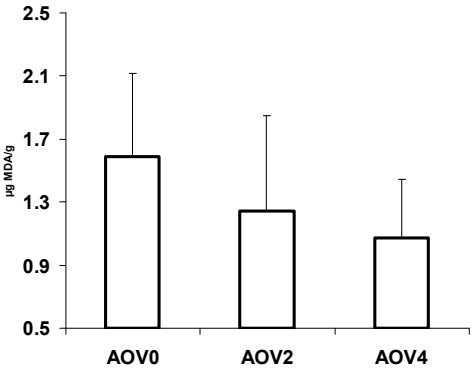


Figure 2 : Teneur en MDA (µg/g) dans les saucissons en fin de séchage



Conclusion

L'apport d'AOV dans un régime riche en AG n-3 permet de réduire la peroxydation des acides gras, comme ceci a déjà été démontré. Mais il semblerait que, chez le porc, il ne soit pas nécessaire d'apporter ces AOV pendant toute la période de distribution des régimes enrichis en n-3. Une période courte, environ 10 jours avant l'abattage, semble suffisante pour obtenir les mêmes effets (voire meilleurs) qu'une période longue. Ces résultats seront à confirmer avec d'autres produits transformés, ces études sont en cours actuellement.

Références bibliographiques.

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Gladine C., Morand C., Rock E., Gruff D., Bauchart D., Durand D., 2007. Anim. Feed Sci. Technol., 139, 257-272.
Guillevic M., Kouba M., Mourot J., 2009. Meat Sci., 81, 612–618.
Mairesse G., Benet M., Meteau K., Juin H., Durand D., Mourot J. 2010, Jour. Recherche Porcine, 42, 197-203
Morisson W., Smith L., 1964. J. Lipid. Res., 5, 600-608.
Mourot J., 2010 OCL, 17, 37-42
Musella M., Cannata S., Rossi R., Mourot J., Baldini P., Corino C., 2009. J. Anim. Sci., 87, 3578-3588.
Oriani G., Salvatori G., Pastorelli G., Pantaleo L., Ritieni A., Corino C., 2001. J. Nutr. Biochem., 12, 138-143.
Nous remercions la plateforme technique du lycée La lande du Breil (Rennees) qui a assuré la fabrication des saucissons.

MODIFICATION DU PROFIL ÉLECTROPHORÈTIQUE DES PROTÉINES MUSCULAIRES APRÈS TRAITEMENT THERMIQUE

TRAORE S. [1], AUBRY L. [1], GATELLIER P. [1], PRZYBYLSKI W. [2], JAWORSKA D. [2], KAJAK-SIEMASZKO K. [2], SANTE-LHOUTELLIER V. [1]
[1] INRA, UR370 QuaPA, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
[2] Warsaw Agricultural University, 02-776 Warsaw, Poland

Introduction

Dans nos sociétés, les viandes sont généralement cuites avant d'être consommées. En favorisant la production des radicaux libres, les traitements thermiques peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité sensorielle et nutritionnelle des viandes et produits carnés, notamment en oxydant les protéines et les lipides. Par ailleurs, les traitements thermiques entraînent une dénaturation protéique rapide qui se traduit par des changements de conformation (Yongsawatdigul 2003) et une augmentation de l'hydrophobie de surface (Promeyrat 2010). La formation de carbonyles et de ponts disulfures génèrent des interactions protéines-proteines (Stadtman 1990 ; Liu 2000 ; Gatellier 2009) qui modifient le profil électrophorétique, et notamment l'intensité de la bande de myosine (Santé-Lhoutellier 2007). Cependant, d'autres auteurs ont démontré un phénomène de fragmentation protéique au cours du chauffage de viande bovine (Tajima 2001) et une quasi absence de modifications de profil électrophorètique dans la viande de volaille qui s'expliquerait par un changement des propriétés de solubilité des protéines (Wattanachant 2005). L'objectif de cette étude est de caractériser les profils électrophorétiques des muscles *Longissimus dorsi* de porc chauffés présentant des teneurs en sucre variable.

Matériel et méthodes

Animaux & échantillons : cette étude est réalisée sur 46 porcs femelles (Galia, n=24 et Redone, n=22). A 24h *post mortem*, les échantillons des muscles *longissimus dorsi* sont congelés à -80°C. Les teneurs moyennes en glycogène sont de 9 µmol/ g et 3µmol/g pour les Galia et Redone, respectivement. Cinq g de muscle sont chauffés à 100°C pendant 10 et 30 min dans un bain à sec.
Extraction des protéines myofibrillaires: elle est réalisée avant et après cuisson selon la méthode de Pietrzak (1997). La concentration en protéines est déterminée par la méthode RCDC protein Assay (Biorad).
Electrophorèse et analyse d'images: 10µg d'extrait myofibrillaire (cru, cuisson 10 et 30 min) sont déposés sur un gel SDS-PAGE à 8%. Après migration, les gels sont scannés (GS-800 Calibrated Densitometer) et l'analyse d'image est réalisée avec le logiciel Quantity One (Biorad). L'intensité des bandes est exprimée en densité optique (DO/mm^2).
Analyse statistique: Les valeurs sont exprimées en moyenne ± SEM. Une analyse de variance à deux facteurs (race, traitement, race x interaction) est réalisée utilisant le logiciel SAS. Quand un effet significatif est observé, un test de comparaison de moyenne (test t) est effectué.

Résultats et discussion

Les profils électrophorètiques des muscles LD crus et après cuisson (Galia et Redone) sont présentés sur la Figure 1. Des différences de profil entre les muscles crus et cuit 10 min et 30 min sont observées dans chacune des races. Nous avons réalisé la quantification de 22 bandes protéiques présentes sur les gels d'électrophorèse (B1 à B22). Nos résultats montrent une diminution significative de l'intensité des bandes de myosine (B1) dès 10 min de chauffage à 100°C (33%) et jusqu'à près de 50% après 30 min. De manière similaire, l'intensité de la bande d'actine (B13) diminue de 30 à 40% avec l'allongement de la durée de chauffage. Les bandes B2, B3 et B4, dont les poids moléculaires sont compris entre 92 et 150kDa, présentent également une diminution de leur intensité au chauffage. Au total, 6 bandes sont absentes du profil électrophorètique des muscles crus. Il s'agit des bandes B6, B9, B11, B12 et B14 dont les poids moléculaires sont compris entre 37 et 75kDa et de la bande B20 dont le poids moléculaire est compris entre 20 et 25kDa. L'apparition de ces nouvelles bandes de poids moléculaires inférieurs à la myosine (B6 ~ 70kDa et B9~ 60kDa) pourrait être due à la dégradation de la myosine. En effet, Tajima (2001) ont montré, avec des anticorps spécifiques de la myosine, que des bandes à 70 kDa et 58 kDa apparaissaient au chauffage, bandes correspondant à des produits de dégradation de la myosine. L'intensité des bandes B5, B8 et B18 présentent un effet traitement et une interaction race*traitement. Cette interaction peut s'expliquer par le fait que l'intensité de ces bandes diminue après 10 min de chauffage et augmente ensuite pour une durée plus longue de chauffage. Une dégradation de ces protéines semble s'opérer pour un temps court de chauffage, et par la suite l'augmentation de l'intensité pourrait traduire un phénomène de changement de solubilité qui se superpose à la dégradation de protéines de poids moléculaire supérieur. Wattanachant (2005) ont souligné la perte de solubilité des protéines myofibrillaires avec l'augmentation de la température de chauffage. Dans nos conditions, l'effet race reste modeste. Certes les différences sont significatives mais les variations observées sont faibles. La bande B9 présente une intensité inférieure dans les muscles de race Galia où le taux de glycogène est 3 fois supérieur à celui des muscles Redone, et à ce jour nous n'avons pas d'hypothèse pour expliquer ce résultat.

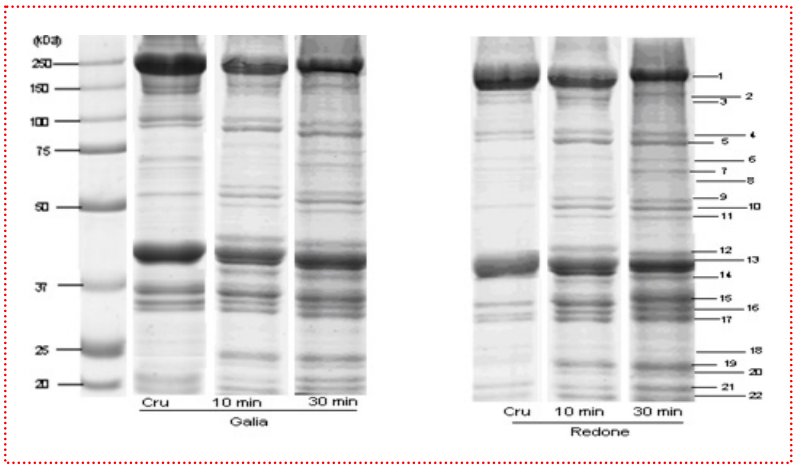


Figure 1: Profil d'électrophorèse des muscles LD de porc Galia et Redone, crus et après chauffage à 100°C pendant 10 et 30 minutes.

Tableau 1: quantification des bandes protéiques des gels d'électrophorèse des muscles LD de porc Galia et Redone, crus et chauffés à 100°C pendant 10 et 30 minutes

Bandes	Race		Traitement			Race	Traitement	Interaction
	Galia	Redone	Cru	Cuisson 10 min	Cuisson 30 min	p	p	p
B1	20,67[a] ± 1,22	19,33[b] ± 1,27	27,64[a] ± 0,65	18,40[b] ± 0,44	13,96[c] ± 0,36	0,023	0,0001	NS
B2	5,91 ± 0,15	5,64 ± 0,12	6,41[a] ± 0,16	5,69[b] ± 0,12	5,23[c] ± 0,08	NS	0,0001	NS
B3	4,67 ± 0,22	4,47 ± 0,21	5,64[a] ± 0,24	4,41[b] ± 0,15	3,67[c] ± 0,09	NS	0,0001	NS
B4	4,06 ± 0,12	3,86 ± 0,12	4,55[a] ± 0,08	3,69[b] ± 0,16	3,65[b] ± 0,06	NS	0,0001	NS
B5	4,68 ± 0,18	4,50 ± 0,12	3,84[a] ± 0,13	5,31[b] ± 0,16	4,62[c] ± 0,05	NS	0,0001	0,004
B6	2,12 ± 0,07	2,13 ± 0,09	ND	1,84[a] ± 0,05	2,41[b] ± 0,03	NS	0,0001	NS
B7	2,09[b] ± 0,10	2,28[a] ± 0,12	2,56[a] ±0,08	1,49[b] ± 0,04	2,52[a] ± 0,06	0,011	0,0001	NS
B8	1,84[b] ± 0,07	2,02[a] ± 0,09	2,13[a] ± 0,11	1,50[b] ± 0,04	2,16[a] ± 0,05	0,035	0,0001	0,027
B9	2,45[b] ± 0,06	2,75[a] ± 0,07	ND	2,43[a] ± 0,06	2,77[b] ± 0,07	0,0007	0,0002	NS
B10	3,14[b] ± 0,13	3,48[a] ± 0,14	2,52[a] ± 0,10	3,70[b] ± 0,14	3,71[b] ± 0,05	0,004	0,0001	NS
B11	2,09[b] ± 0,06	2,27[a] ± 0,05	ND	2,11± 0,06	2,26 ± 0,05	0,031	NS	NS
B12	3,63 ± 0,13	3,86 ± 0,12	ND	3,88 ± 0,12	3,61 ± 0,13	NS	NS	NS
B13	13,94[b] ±0,75	15,01[a] ± 0,81	19,20[a] ± 0,54	12,97[b] ± 0,43	11,25[c] ± 0,26	0,026	0,0001	NS
B14	4,51 ± 0,16	4,78 ± 0,16	ND	4,17[a] ± 0,13	5,13[b] ± 0,08	NS	0,0001	NS
B15	7,43 ± 0,23	7,28 ± 0,27	6,28[a] ± 0,29	8,34[b] ± 0,21	7,45[c] ± 0,15	NS	0,0001	NS
B16	5,99 ± 0,15	5,88 ± 0,18	5,17[a] ± 0,22	6,38[b] ± 0,12	6,26[b] ± 0,10	NS	0,0001	NS
B17	4,88 ± 0,16	5,05 ± 0,12	4,41[a] ± 0,20	5,11[b] ± 0,14	5,37[b] ± 0,09	NS	0,0002	NS
B18	1,41[b] ± 0,05	1,74[a] ± 0,08	1,84[a] ± 0,09	1,34[b] ± 0,05	1,55[b] ± 0,06	0,0001	0,0001	0,033
B19	3,52 ± 0,29	3,55 ± 0,25	1,89[a] ± 0,07	4,28[b] ± 0,23	4,43[b] ± 0,14	NS	0,0001	NS
B20	2,03 ± 0,14	1,92 ± 0,07	ND	1,71[a] ± 0,05	2,24[b] ± 0,09	NS	0,0007	NS
B21	2,86 ± 0,14	2,84 ± 0,12	3,30[a] ± 0,09	2,14[b] ± 0,06	3,11[a] ± 0,12	NS	0,0001	NS
B22	3,03 ± 0,13	3,21 ± 0,15	3,03 ± 0,15	2,85 ± 0,17	3,47 ± 0,16	NS	NS	NS

[a,b,c] Les moyennes présentant les lettres différentes dans une même ligne sont significativement différentes. P<0,05

Conclusion

L'application d'un traitement thermique affecte les protéines de la viande, non seulement par la formation de protéines oxydées comme nous l'avions montré précédemment (Santé-Lhoutellier 2007) mais aussi par des réactions d'hydrolyse des protéines. En effet les profils électrophorètiques des viandes chauffées se distinguent de leurs homologues non chauffés. Par contre l'effet race reste modeste. Des travaux complémentaires sont prévus pour identifier par spectrométrie de masse les bandes nouvellement formées.

Références Bibliographiques

Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., Portanguen S. and Kondjoyan A. 2009. Meat Sci., 83, 651-656
Liu.G and Xiong Y.L, 2000. J. Agric. Food Chem., 48, 624-630
Pietrzak M., Greaser M. L., Sosnicki A. A., 1997. J. Anim. Sci., 75, 2106–2116.
Promeyrat A., Gatellier P., Lebret B., Kajak-Siemaszko., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., 2010. Food Chem., 121, 412-417
Santé-Lhoutellier V., Aubry L., Gatellier P., 2007. J. Agric. Food Chem., 55, 5343-5348
Stadtman E.R., 1990. Free Rad. Biol. Med., 8, 315-325
Tajima T., Ito T., Arakawa N., Parrish JR F.C., 2001. J. Food Sci., 66, 223-237
Wattanachant S., Benjakul S., Ledward D.A., 2005. Food Chem., 93, 337-348
Yongsawatdigul J and Patk J.W., 2003. Food Chem., 83, 409-416

DEVELOPPEMENT D'UN MODELE MIMETIQUE DE LA VIANDE POUR L'ETUDE DES MODIFICATIONS PHYSICOCHIMIQUES DES PROTEINES AU CHAUFFAGE

PROMEYRAT A., GATELLIER P., SANTE-LHOUTELLIER V., DAUDIN J.D.
INRA, UR370 QuaPA, 63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

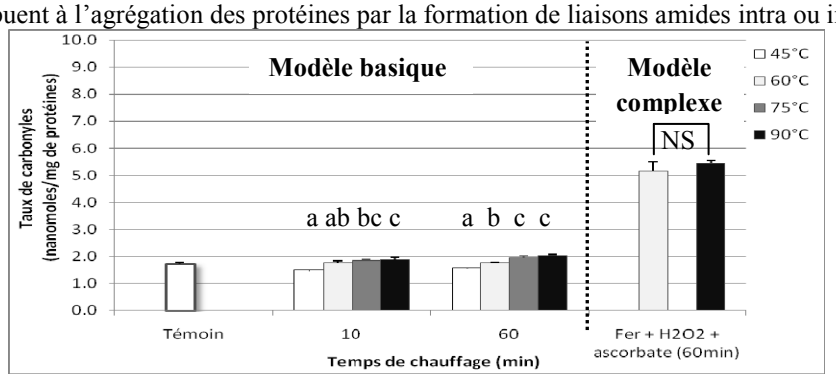
Au cours des traitements thermiques les protéines de la viande subissent des oxydations et des changements de conformation. Ces deux phénomènes peuvent induire une perte de la valeur nutritionnelle des produits carnés par une diminution de la digestibilité des protéines (Santé-Lhoutellier 2008). Le but de cette étude est de réaliser un modèle mimétique de la viande permettant d'établir les lois cinétiques régissant les changements d'état des protéines (oxydation et dénaturation) et leur digestibilité, en relation avec la température de chauffage et la composition des matrices. L'utilisation d'un système modèle permet de parfaitement contrôler cette composition, ce qui est très difficile avec des échantillons de viande. Deux modèles mimétiques ont été étudiés : un modèle basique composé uniquement de protéines musculaires et un modèle complexe dans lequel d'autres composants constitutifs de la viande sont ajoutés. Des traitements thermiques différents, en terme de température et de temps de chauffage, sont appliqués sur ces deux modèles.

Matériel et Méthodes

Modèle mimétique basique. Il s'agit d'un modèle *in vitro* composé de protéines myofibrillaires en suspension dans un tampon phosphate 40mM à pH 6, mimant les conditions physicochimiques de la viande. Les protéines myofibrillaires sont extraites à partir du muscle *Psoas* de lapin, ayant 100% de fibres à métabolisme glycolytique. Les myofibrilles sont préparées selon la méthode de Pietrzak (1997) et délipidées par un solvant (diisopropyléther/butanol) qui préserve l'état des protéines.
Modèle mimétique complexe. Les oxydants sont ajoutés à la suspension de protéines myofibrillaires. Le système oxydant testé est composé de fer ferreux (0,6mM), de peroxyde d'hydrogène (2mM) et d'ascorbate (0,1mM). Ces composés sont connus pour être principalement impliqués dans les oxydations de la viande par production de radicaux libres.
Traitements thermiques. Le chauffage est réalisé dans un bain à sec pendant 10 et 60 min à 45°C, 60°C, 75°C et 90°C pour le modèle basique et pendant 60 min à 60°C et 90°C pour le modèle complexe. Un préchauffage du tampon permet d'atteindre immédiatement la température de chauffage désirée, par mélange, en début d'essai.
Mesures. L'oxydation des protéines est évaluée par mesure du taux de carbonyles (produit d'oxydation des acides aminés basiques) et par la teneur en thiols libres (Mercier 2001). L'agrégation des protéines est évaluée avec un granulomètre qui caractérise la forme des particules protéiques et notamment, leur circularité (Promeyrat 2010).

Résultats et Discussion

Formation des carbonyles. La figure 1 présente l'effet des traitements thermiques sur le taux de groupements carbonyles dans les deux modèles. Dans le cas du modèle basique, le chauffage induit une faible production de carbonyles, qui est tout de même significative (ANOVA : température $p<0,01$; temps $p<0,05$). Cette production est beaucoup plus importante dans le cas du modèle complexe. Le taux augmente d'un facteur 3 par rapport au témoin, ce qui est comparable aux résultats obtenus sur la viande bovine cuite (Gatellier 2010). La formation des carbonyles est logiquement conditionnée à la présence d'agents oxydants. Les résidus carbonyles, en réagissant avec des groupements amines libres, contribuent à l'agrégation des protéines par la formation de liaisons amides intra ou inter chaînes.

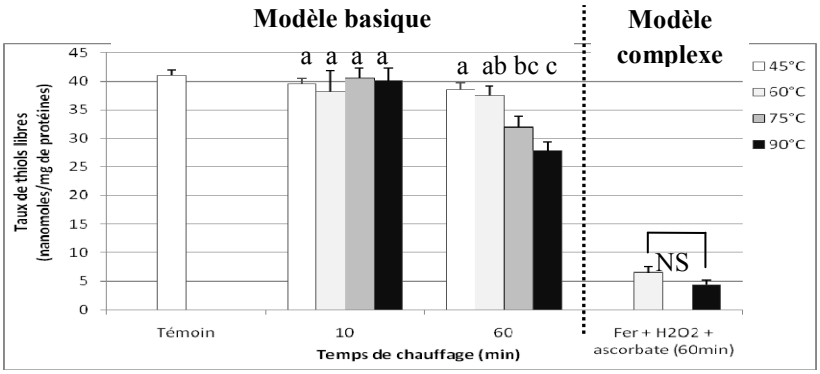


Pour chaque temps de chauffage les valeurs n'ayant aucune lettre en commun sont significativement différentes au seuil $p<0,05$.

Figure 1 : Effet des traitements thermiques sur l'oxydation des acides aminés basiques dans les deux modèles

Oxydation des thiols libres. La diminution de la teneur en thiols libres renseigne sur la formation des ponts disulfures pouvant conduire à l'agrégation des protéines. Sur le modèle basique, cette diminution est uniquement observée après 60 min de chauffage (ANOVA : temps $p<0,001$).

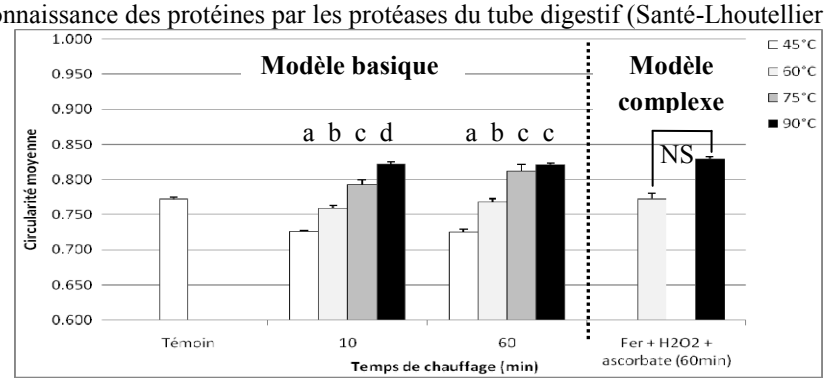
Ce résultat montre que les thiols sont plus sensibles que les acides aminés basiques aux traitements thermiques. En effet, les thiols s'auto-oxydent rapidement sous l'effet de la température et en présence d'oxygène dissout dans le tampon. Sur le modèle complexe une diminution des thiols libres d'environ 90% est observée.



Pour chaque temps de chauffage les valeurs n'ayant aucune lettre en commun sont significativement différentes au seuil p<0,05.

Figure 2 : Effet des traitements thermiques sur l'oxydation des thiols libres dans les deux modèles

Circularité des particules protéiques. Cet indice rend compte indirectement de l'agrégation des protéines. Dans le cas du modèle basique, un effet contrasté du chauffage est observé. La faible diminution de circularité, mesurée à 45°C, pourrait traduire une renaturation partielle des protéines myofibrillaires, préalablement dénaturées lors de leur extraction. Pour les températures les plus élevées (75°C et 90°C), une augmentation rapide de la circularité est observée traduisant le passage de particules majoritairement fibrillaires à des particules plus sphériques ; une sphéricité parfaite étant égale à 1. Cette augmentation de circularité peut traduire un repliement et/ou un empilement de particules caractéristique du phénomène d'agrégation des protéines. L'ANOVA réalisée sur le modèle basique révèle un effet significatif de la température (p<0,001) et du temps de chauffage (p<0,05) bien que les résultats entre 10 et 60 min soient semblables. L'ajout d'oxydants dans le modèle complexe n'induit pas de changement significatif de la circularité des particules montrant ainsi que le phénomène d'agrégation est associé spécifiquement à la dénaturation thermique. Il a été montré que l'hydrophobie de surface des protéines joue un rôle important dans l'agrégation des protéines (Promeyrat 2010). Dans ce modèle, une augmentation importante de l'hydrophobie de surface des protéines (40%) est observée indépendamment de la présence d'agents oxydants (résultats non présentés). L'agrégation protéique induit une diminution de la reconnaissance des protéines par les protéases du tube digestif (Santé-Lhoutellier 2008).



Pour chaque temps de chauffage les valeurs n'ayant aucune lettre en commun sont significativement différentes au seuil p<0,05.

Figure 3 : Effet des traitements thermiques sur la circularité des particules protéiques dans les deux modèles

Conclusions et perspectives

Les traitements thermiques induisent des modifications chimiques et structurales importantes des protéines. L'ajout d'oxydants augmente l'état d'oxydation des protéines, au chauffage, par une surproduction de radicaux libres (paramètre non mesuré). Par contre, les oxydants semblent peu affecter l'agrégation des protéines qui dépend surtout de leur dénaturation thermique. Dans l'objectif de déterminer des lois cinétiques, d'autres durées de chauffage et d'autres concentrations en fer vont être testées. En parallèle, la digestibilité des protéines sera mesurée. Les résultats en système modèle seront validés par comparaison avec des viandes parfaitement caractérisées en terme de composition et de structure.

Ces travaux sont financés par le projet européen DREAM (7ième Programme Cadre de l'Union Européenne) : Design and development of REAlistic food Models with well-characterised micro- and macro-structure and composition.

Références bibliographiques

Gatellier P., Kondjoyan A., Portanguen S., Santé-Lhoutellier V., 2010. Meat Sci., 82, 645-650.
Mercier Y., Gatellier P., Vincent A., Renerre M., 2001. Meat Sci., 58, 125-134.
Pietrzak M., Greaser M.L., Sosnicki A.A., 1997. J. Anim. Sci., 75, 2106-2116.
Promeyrat A., Gatellier P., Lebret B., Kajak-Siemaszko K., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., 2010. Food Chem., 121, 412-417.
Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier P., 2008. J. Agric. Food Chem., 56, 1488-1494.

PREDICTION DES QUANTITES D'ACIDES GRAS PRESENTS DANS DES TISSUS EN FONCTION DE LA QUANTITE D'ACIDES GRAS INGEREE PAR DES PORCS

LEBERT A.[1], MAIRESSE G.[2,3], MOUROT J.[2]

[1] INRA, UR QUaPA, Centre de Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle
[2] INRA, UMR 1079 SENAH, F-35000 Rennes, France
[3] Valorex, La Messayais, 35210 Combourtillé

Introduction

Un des enjeux majeurs de l'alimentation humaine est de réduire le ratio entre les acides gras polyinsaturés (AGPI) n-6 et n-3 d'une valeur actuelle comprise entre 13 et 15 à la valeur préconisée de 5 (AFSSA, 2001). La viande de porc étant la viande la plus consommée en France (35 kg équivalent carcasse/hab/an en 2007), son enrichissement en AGPI n-3 constitue donc un moyen efficace pour contribuer aux valeurs recommandées par l'AFSSA (Mairesse 2008). Dans le cadre du programme ANR Lipivimus, une expérimentation a permis de mesurer les teneurs en différents acides gras présents dans cinq tissus pour différents régimes alimentaires des porcs. Le but du travail est d'examiner s'il est possible de prédire les quantités d'acides gras présentes dans différents tissus en fonction des quantités d'acides gras ingérées.

Matériels et Méthodes

L'expérimentation a été réalisée sur cinq lots de 12 porcs (6 femelles et 6 mâles castrés ; poids initial de 51,2 ± 2,2 kg) placés en loge individuelle et nourris ad libitum avec l'un des 5 régimes expérimentaux présentés dans le Tableau 1. Ces régimes sont composés d'un aliment standard (lipides = 2%) auquel a été rajouté différentes sources végétales lipidiques à hauteur de 2%. Ils sont iso-lipidiques (4,0%) et isoénergétiques (énergie digestible = 16,3 MJ/kg). Les régimes L (source de lipides apportés par 100% graines de lin extrudées, Tradi-Lin®, Valorex, France), P+L (graine de lin extrudées, huile de palme : 50/50) et P (100% huile de palme) possèdent des teneurs similaires en acide linoléique (LA) mais différentes en acide α-linolénique (ALA). Les régimes P, P+T (huile de palme, huile de tournesol : 50/50) et T (100% huile de tournesol) possèdent des teneurs en LA différentes mais similaires en ALA.

Tableau 1 : Profil en acides gras des aliments expérimentaux (en % des acides gras totaux)

	L	P+L	P	P+T	T
C16:0	11,5	20,9	31,2	21,3	11,4
C18:0	2,9	3,2	3,5	3,2	3,1
C18:1	17,0	23,2	30,1	27,5	25,1
C18:2 n-6 (LA)	34,5	32,1	30,1	43,0	55,7
C18:3 n-3 (ALA)	32,4	18,5	2,6	2,7	2,6
AGS	14,9	25,0	36,0	25,5	15,2
AGM	17,6	23,9	30,8	28,2	25,7
AGPI	67,5	51,1	33,2	46,3	59,1
n-6 AGPI	34,8	32,4	30,3	43,4	56,2
n-3 AGPI	32,6	18,6	2,8	2,9	2,8
n-6/n-3	1,1	1,7	10,8	15,0	19,9
LA/ALA	1,1	1,7	11,5	16,0	21,1

Source : Mairesse (2008)

Les porcs ont été abattus par électronarcose (poids final = 110,5 ± 6,5 kg), découpés, puis des échantillons de bardière, de foie, de tissu adipeux, de muscle Longissimus Dorsi (LD) et de muscle SemiMembranosus (SM) ont été conservés à -20°C jusqu'à analyses. Les lipides totaux ont été extraits puis déterminés en Chromatographie en Phase Gazeuse après saponification et méthylation (Mairesse 2008).
Afin de prédire les quantités d'acides gras présentes dans les cinq tissus en fonction des quantités d'acides gras ingérées par les animaux, les techniques suivantes ont été utilisées : régression linéaire multiple ascendante et régression PLS (Tenenhaus 1998) avec le logiciel R (R Core Team 2009) et le package mixOmics (Dejean 2010).

Résultats et Discussion

Un premier résultat réside dans le fait que la régression PLS ne permet pas d'obtenir des résultats meilleurs que la régression linéaire multiple ascendante : seuls les résultats correspondant à cette dernière technique seront présentés. Un deuxième résultat important est que pour les acides gras représentant moins de 5% des acides gras totaux, il n'est pas possible de trouver des équations de régression (linéaire multiple ou PLS) permettant de prédire la quantité d'acides gras présente dans un tissu en fonction de la quantité d'acides gras ingérée. Le tableau 2 montre, pour chaque tissu, les variables pour lesquelles le coefficient de corrélation est supérieur à 0,75.

Tableau 2 : Variables pour lesquelles une équation de prédiction peut être développée
Valeur du coefficient de corrélation multiple

	Bardière	Tissu Adipeux	Foie	LD	SM
C18:3 n-3	0,97	0,93	0,83	0,88	0,80
C20:3 n-3		0,88			
C20:5 n-3	0,93	0,87			
C20:5 n-3		0,92	0,97		0,87
C22:5 n-3	0,88	0,75	0,83		
Σ n-3	0,96	0,92	0,91	0,78	
Σ n-6 / Σ n-3	0,95	0,97	0,94	0,84	0,97
C18:2 n-6 / C18:3 n-3	0,96	0,97	0,86	0,87	0,92

Des équations de prédiction ont été obtenues pour ces variables. Le nombre d'animaux étant faible, il n'était pas possible de séparer l'échantillon en deux parties : une partie pour l'établissement du modèle et une partie pour la validation. De ce fait seule une validation croisée a été réalisée. Les figures 1 et 2 montrent les résultats de cette validation d'une part pour la variable C20:5 n-3 présente dans le foie et le ratio Σ n-6 / Σ n-3 dans le cas du muscle SM.

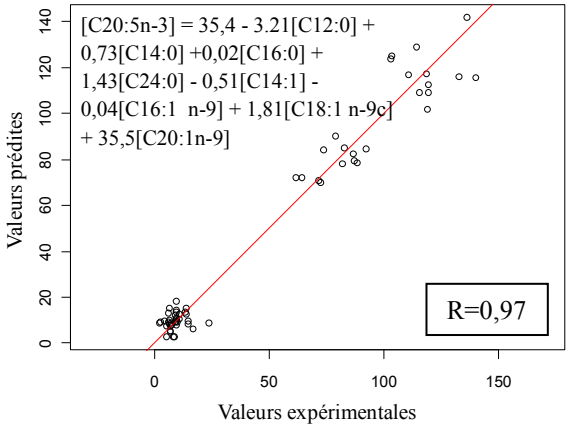


Figure 1 : Comparaison de la quantité de C20:5 n-3 présente dans le foie prédite et de la quantité mesurée

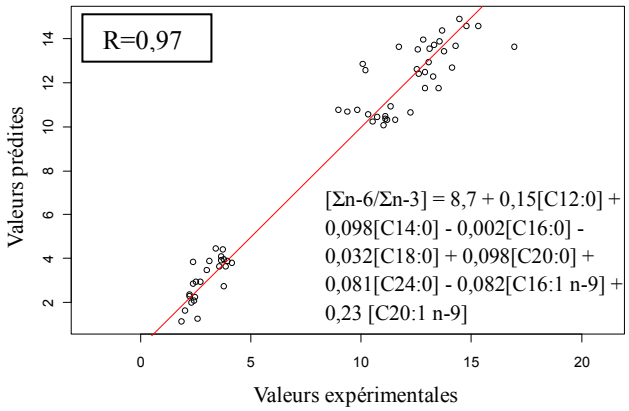


Figure 2 : Comparaison du ratio des AGPI Σ n-6 / Σ n-3 présents dans le muscle SM prédit et du ratio mesuré

Conclusion

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible pour les principaux acides gras présents dans la ration alimentaire – ou dérivant de ceux-ci – de prédire la quantité retrouvée dans un tissu donnée. Il sera nécessaire par la suite de valider plus complètement les modèles mis en place.

Références bibliographiques

AFSSA, 2001. AFSSA, CNERVA, CNRS. Coord. A. Martin., Paris, éditions Tec & Doc, 650 p.
Dejean S., Gonzalez I., Le Cao K.-A., 2010. http://CRAN.R-project.org/package=mixOmics
Mairesse G., Fillaut M., Mourot J., 2008. 12ème JSMTV, Tours 8-9 octobre 2008
R Development Core Team, 2009. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. http://www.R-project.org.
Tenenhaus, M., 1998. La régression PLS : théorie et pratique. Paris : Editions Technic

Remerciements

Les travaux ont été menés dans le cadre du programme ANR Lipivimus.

INFLUENCE DU NIVEAU DE PEROXYDATION LIPIDIQUE DE L'ALIMENT SUR L'ÉVOLUTION DES DÉFENSES ANTI-OXYDANTES CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL

FONTAGNÉ-DICHARRY S., LATAILLADE E., SURGET A.

INRA, UMR 1067 Nutrition, Aquaculture et Génomique
Pôle d'Hydrobiologie, 64310 Saint Pée-sur-Nivelle, France

Introduction

La qualité nutritionnelle du poisson est liée en grande partie à la composition de ses dépôts lipidiques tels que les acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC) de la série n-3 qui constituent la "valeur santé" du poisson pour le consommateur. Or ces acides gras, sont très sensibles aux phénomènes de peroxydation qui peuvent se produire aussi bien *in vitro* dans l'aliment qu'*in vivo* chez le poisson. La peroxydation lipidique chez le poisson a pour conséquence une diminution des qualités nutritionnelles (diminution de la teneur en AGPI-LC n-3) et organoleptiques (altération de la flaveur et de la couleur du poisson). De plus les composés d'oxydation formés peuvent avoir des effets délétères pour la santé du poisson et celle du consommateur. Le poisson comme tous les autres organismes aérobies possèdent des systèmes de protection contre l'oxydation composés d'enzymes et de molécules anti-oxydantes telles que la vitamine E.
L'objectif de cette étude a été de caractériser les effets des lipides oxydés de l'aliment sur les défenses anti-oxydantes au cours du développement de truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), principale espèce piscicole produite en France.

Matériels et méthodes

Des œufs de truite ont été incubés 70 jours à 7°C à la pisciculture INRA de Lées-Athas (Pyrénées-Atlantiques, France) jusqu'au stade émergence, c'est-à-dire pendant toute la période d'alimentation endogène. Les alevins de truite ont ensuite été élevés la pisciculture INRA de Donzacq (Landes, France) à 17°C et nourris pendant 75 jours avec deux régimes expérimentaux TEM et OX isoprotéiques (54 % de la matière sèche, MS), isoénergétiques (22 kJ/g MS), et isolipidiques (21 % MS). Les deux régimes ne diffèrent que par le niveau d'oxydation de l'huile de poisson qui constitue 5 % de l'aliment. Dans le cas de l'aliment OX, l'huile de poisson a été auto-oxydée à 60°C par bullage d'air pendant 144 heures. L'oxydation a conduit d'une part à l'augmentation de l'indice de peroxyde (153,0 meq/kg pour l'huile OX vs 7,0 meq/kg pour l'huile TEM), des diènes conjugués (extinction en lumière ultraviolette à 232 nm de 33 vs 9,2) et de l'indice d'anisidine (433,4 vs 8,8), et d'autre part à la diminution de la proportion d'AGPI-LC n-3 (11 vs 20 % des acides gras totaux) déterminés selon les méthodes décrites précédemment (Fontagné 2008). Les deux huiles ont ensuite été stabilisées avec 300 ppm d'éthoxyquine. Les teneurs en tocophérols des aliments, déterminées par HPLC d'après Buttriss (1984) n'ont pas été affectées par l'incorporation d'huile de poisson oxydée (198 vs 247 mg/kg). Des échantillons d'œufs et d'alevins des deux lots ont été prélevés à différents stades de développement afin d'étudier la régulation du système de défenses anti-oxydantes au cours du développement.

Résultats et discussion

La survie des alevins de truite n'a pas été significativement affectée par les niveaux de peroxydation lipidique testés dans les aliments (88 % pour le lot OX vs. 90 % pour le lot TEM à J145). En revanche, une baisse significative de la croissance a été notée chez les alevins de truite nourris avec 5 % de lipides oxydés dès le 12ème jour d'alimentation exogène (poids moyen de 155 vs 170 mg à J82 et 5,0 vs 6,5 g à J145). Les taux de vitamine E sont plus faibles chez les alevins nourris avec le régime OX relativement aux alevins nourris avec le régime TEM à partir de J98 (figure 1), ce qui suggèrerait un stress oxydant. Cependant la mesure de l'activité des enzymes anti-oxydantes n'a pas mis en évidence de différence significative entre les lots quel que soit le stade de développement considéré (figure 2) contrairement à ce qui a été observé dans une étude précédente chez des truites nourries avec 8 % d'huile de poisson oxydée (Fontagné 2008). De plus, les indices de lipoperoxydation des alevins ont été relativement peu affectés par les niveaux de peroxydation lipidique testés dans les aliments. Aucune différence de teneurs en F2-isoprostanes n'a été observée entre les lots. Les indices de peroxyde et d'anisidine n'ont pas été modifiés. Seule une augmentation de la teneur en lipides fluorescents et en diènes conjugués a été notée à J145 chez les alevins nourris avec 5 % de lipides oxydés (respectivement 2,9 vs 2,5 et 82 vs 74).

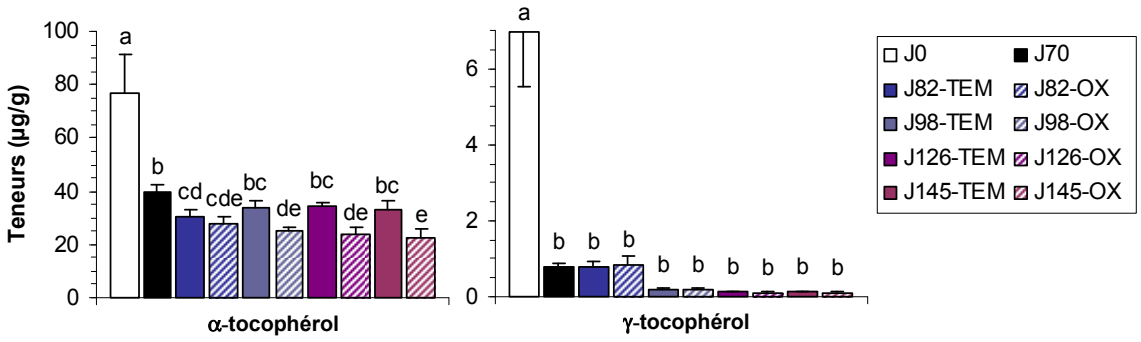


Figure 1. Evolution de la teneur en tocophérols au cours du développement précoce de la truite arc-en-ciel. Les valeurs correspondent aux moyennes ± écart-type de 9 mesures. Des indices différents indiquent une différence significative ($P < 0,05$) par une ANOVA et un test de Student-Newman-Keuls.

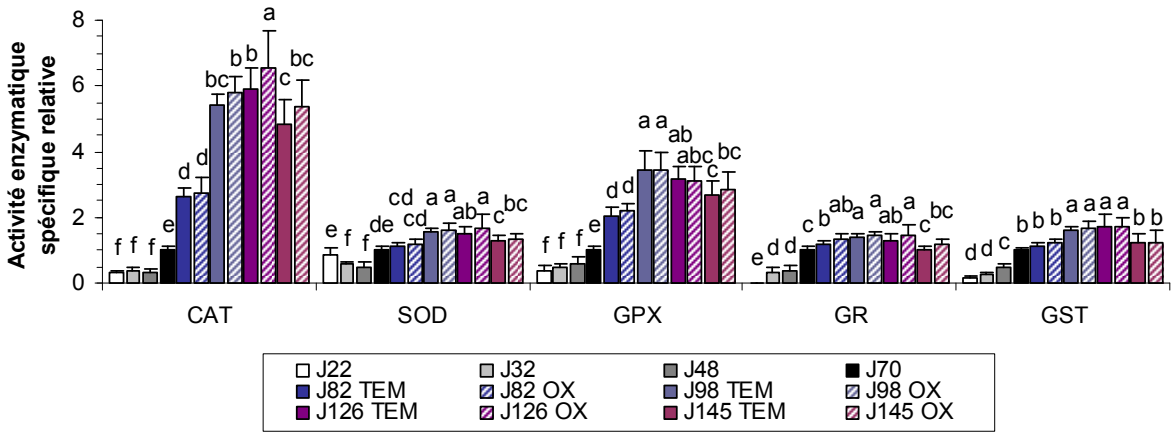


Figure 2. Evolution de l'activité des enzymes anti-oxydantes (CAT : catalase, SOD : superoxyde dismutase, GPX, glutathion peroxydase, GR : glutathion réductase et GST : glutathion S-transférase) au cours du développement précoce de la truite arc-en-ciel. Les valeurs correspondent aux moyennes ± écart-type de 9 mesures et sont exprimées par rapport à l'activité spécifique moyenne observée à J70. Des indices différents indiquent une différence significative ($P < 0,05$) par une ANOVA et un test de Student-Newman-Keuls.

Conclusion

Le système de défenses anti-oxydantes évolue au cours du développement précoce de la truite arc-en-ciel avec une augmentation de l'activité des enzymes anti-oxydantes et une diminution des teneurs en tocophérols. Une alimentation des alevins de truite avec 5 % d'huile de poisson oxydée entraîne un stress oxydant modéré avec une peroxydation lipidique limitée chez les alevins et une faible régulation du système de défenses anti-oxydantes.

Références bibliographiques

Buttriss, J.L., Diplock, A.T., 1984. Methods Enzymol., 105, 131-138.
Fontagné S., Lataillade E., Brèque J., Kaushik. S., 2008. Br. J. Nut., 100, 102-111.

Remerciements

Cette étude a été financée en partie par le projet européen de recherche collective FineFish (Contrat COLL-CT-2005-012451). Les auteurs remercient La Lorientaise pour la fourniture d'huile de poisson sans anti-oxydant ainsi que P. Aguirre, M.-J. Borthaire, J.-P. Fouriot, Y. Hontang, L. Larroquet, P. Maunas, M. Raguénes, F. Sandres et F. Terrier pour leur aide technique.

LES HYDROXYALKENALS LIES AUX PROTEINES SONT-ILS DES MARQUEURS DISCRIMINANTS DE LA PEROXYDATION DES AGPI N-3 ET N-6 DANS LA VIANDE BOVINE ?

GOBERT M. [1,3], COSSOUL C. [1], COMTE B. [2], PUJOS-GUILLOT E. [2], GLADINE C. [2], JOLY C. [2], BAUCHART D. [1], DURAND D. [1]
[1] INRA, UR 1213 Herbivores, [2] INRA, UMR 1019 Nutrition Humaine,
[3] INRA, UR 370 Qualité des Produits Animaux,
INRA de Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

Introduction

Dans le but d'améliorer la qualité nutritionnelle des viandes de ruminant, les rations sont actuellement enrichies en lipides riches en acides gras polyinsaturés (AGPI) de type n-3 et/ou n-6 au cours de la période de finition. Cependant, ces AGPI sont très sensibles aux processus de peroxydation tant pendant la vie de l'animal que dans les viandes produites (Gladine 2007). De nombreuses études ont bien montré que certaines situations, telles que le stress de l'animal au moment de l'abattage favorisaient le stress oxydant (Chirase 2004). De même, certains procédés de conditionnement des viandes, tels le conditionnement sous film perméable à l'air ou sous atmosphère modifiée riche en oxygène, stimulaient la lipoperoxydation (Gobert 2010). Afin de limiter ces processus de lipoperoxydation, nous avons montré qu'un apport combiné de vitamine E associé à des extraits végétaux riches en polyphénols permettait de réduire l'apparition de malondialdéhyde (MDA), produit final de la peroxydation des AGPI (Gobert 2010). Cependant, la mesure du MDA ne permet pas de discriminer la peroxydation spécifique liée aux AGPI de la famille n-3 de celle des AGPI n-6, ce qui ne permet pas d'évaluer finement l'intérêt potentiel de cette nouvelle stratégie de supplémentation en antioxydants des rations de ruminant. Depuis plusieurs années, le développement des méthodes analytiques, a permis d'identifier des produits terminaux tels que le 4-hydroxy-2-nonénal (4-HNE) et le 4-hydroxy-2-hexenal (4-HHE) spécifiques de la peroxydation des AGPI n-6 et n-3, respectivement (Lesgards 2009). Ces produits sont hautement réactifs et se lient rapidement à des protéines, des lipides et l'ADN pour former des adduits plus ou moins stables (Esterbauer 1991). Cependant leur dosage n'est actuellement réalisé que dans très peu de matrices. Grâce à une collaboration avec l'Unité de Nutrition Humaine et la Plateforme analytique de spectrométrie de masse du Centre INRA de Theix, nous avons adapté la méthode de quantification des adduits thio-éther protéiques du HNE et du HHE à la matrice viande. Le but de cette étude était de vérifier si cette nouvelle approche méthodologique permet de mettre en évidence des différences de peroxydation entre les familles n-6 et n-3 sur des viandes stockées selon différents types de conditionnement conduisant à des niveaux de peroxydation très différents en terme d'intensité (Gobert 2010).

Matériels et Méthodes

Animaux et traitements. Cette étude s'inscrit dans le cadre du programme ANR Lipivimus et a porté sur 10 vaches de réforme de race Normande recevant au cours d'une période de finition de 100 jours une ration à base d'aliment concentré et de paille (70/30).

Transformations des viandes. Le muscle *Semitendinosus* (ST) a été prélevé sur chacune des 10 carcasses après 12 jours de maturation en chambre froide (+4°C), puis découpé de façon à obtenir 4 steaks identiques à ceux préparés pour leur commercialisation. Un steak a été immédiatement congelé et conservé à -80°C jusqu'à analyse (steak maturé 12 j : **M**). Les 3 autres steaks ont été conditionnés en barquettes à +4°C soit sous film perméable à l'air (**SF**) pendant 4 jours, soit sous-atmosphère modifiée (**SA**) (70:30, O_2:CO_2) pendant 7 jours, soit sous-vide (**SV**) pendant 14 jours.

Mesures effectuées. L'intensité de la peroxydation des AGPI n-6 et n-3 de plus de deux doubles liaisons a été évaluée par la mesure de la teneur en MDA libre des viandes séparé par HPLC et détecté par fluorimétrie selon la méthode d'Agarwal & Chase (2002). L'intensité de la peroxydation spécifique des AGPI n-3 et n-6 des viandes a été évaluée par la mesure respective du 4-HHE et 4-HNE sous leur forme liée aux protéines selon une adaptation de la méthode décrite par Lesgards et al. (2009). Après réduction de ces composés au NaB^2H_4 pour les stabiliser, le complexe hydroxyalkénals-protéines de l'homogénat est précipité à l'aide d'acide sulfosalicylique, puis suspendu dans un tampon guanidine. Une quantité connue de dihydroxy-2-nonene marqué ([$^2H_{11}$]DHN) est ajoutée comme standard interne, puis les liaisons protéiques sont hydrolysées par incubation avec du Nickel de Raney. Les composés réduits sous forme d'alcools correspondants sont extraits à l'acétate d'éthyle avant séchage et dérivation (terbutyl-diméthyl sylil) pour leur passage en CPG-SM triple quadripôle selon la méthode chromatographique adaptée d'Asselin et al. (2006) avec quelques modifications. La détection par spectrométrie de masse est réalisée en mode ionisation chimique, le gaz réactant étant l'isobutane. La quantification a été réalisée en mode MRM (Monitoring Reaction Mode) par suivi des transitions m/z = 348>216 et 390>258, pour le HHE et le HNE respectivement.

Analyses statistiques. La comparaison des moyennes entre les différents conditionnements des viandes a été évaluée par ANOVA (modèle général linéaire). L'intensité de la liaison entre les différents marqueurs de la lipoperoxydation et les teneurs en AGPI ont été déterminées par le calcul du coefficient de corrélation. Les effets sont déclarés significatifs au seuil de 5%, les effets compris entre 5 et 10 % étant déclarés comme une tendance.

Résultats et Discussion.

Comme déjà rapporté (Gobert 2010), le conditionnement sous film perméable à l'air et surtout le conditionnement sous atmosphère riche en oxygène augmente très significativement le niveau de lipoperoxydation par rapport au conditionnement sous vide mesuré par la teneur en MDA (de 6 à 13 fois respectivement, P<0.05). Concernant l'augmentation de la lipoperoxydation subie par les différentes familles d'AGPI, il apparait que pour le conditionnement le plus délétère, le sous atmosphère modifiée, l'augmentation soit sensiblement la même pour les AGPI n-6 et n-3 (x1,6 et 1,8 respectivement, P<0,05). Cependant, cette plus faible augmentation que celle déterminée avec le MDA n'a pas permis de mettre en évidence des effets significatifs pour le conditionnement sous film par rapport au conditionnement sous vide.

Tableau 1 : Teneurs en produits peroxydés aldéhydiques (exprimées par g de tissus) dans les viandes maturées (M) et conditionnées sous vide (SV), sous film perméable à l'air (SF) ou sous atmosphère modifiée (SA).

	Conditionnements				**SEM**	**Probabilité**
	M	**SV**	**SF**	**SA**		
MDA (µg/g de tissu)	0,31 a	0,20 a	1,32 b	2,73 c	2,86	<0,0001
HNE-protéines (µmol/g de tissu)	1,06 a	1,34 ab	1,38 ab	1,68 b	0,15	0,046
HHE-protéines (µmol/g de tissu)	1,31a	1,30a	1,73a	2,41b	0,18	0,0003

a-c : Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les moyennes (P<0,05).

Par ailleurs, si l'on s'intéresse aux relations qui existent entre les différents marqueurs de la lipoperoxydation et les teneurs en AGPI, il apparait des corrélations hautement significatives entre ces hydroxyalkénals et le MDA (P<0,01) (Tableau 2). Ceci indique que la méthode de dosage par spectrométrie de masse développée dans cette étude permet bien de mesurer l'intensité de la lipoperoxydation par une nouvelle approche. De plus, il est important de noter que le niveau de HNE-protéines est significativement corrélé aux teneurs en AGPI n-6 et pas en AGPI n-3 des tissus, ce qui semble indiquer qu'il est un indicateur pertinent et discriminant pour la matrice viande. Par contre, il n'apparait pas de corrélation significative entre le HHE-protéines et les AGPI n-3 (seulement une tendance est observée) ; il n'est cependant pas du tout corrélé avec les AGPI n-6 confirmant malgré tout sa spécificité vis-à-vis des AGPI n-3.

Tableau 2 : Coefficients de corrélation (r) et probabilités associées (P) entre les teneurs en 4-hydroxy-2-alkénals, MDA et AGPI n-3 et n-6 dans les viandes issues de différents conditionnements.

	HHE-protéines	**HNE-protéines**	**MDA**	**AGPI n-3**	**AGPI n-6**
HHE-protéines		r = 0,60 P<0,01	r = 0,45 P<0,01	(r = 0,26) (P<0,1)	NS
HNE-protéines			r = 0,71 P<0,01	NS	r = 0,37 P<0,05
MDA				(r = 0,26) (P<0,1)	NS
AGPI n-3					non testé
AGPI n-6					

Conclusions

Le dosage des adduits thio-éther de protéines avec des aldéhydes spécifiques de la peroxydation des AGPI n-6 et n-3 des viandes a permis de montrer que ces indicateurs sont : 1) spécifiques des différentes familles d'AGPI avec une meilleure sensibilité du HNE par rapport au HHE, 2) très corrélés avec les indicateurs habituels (MDA), mais avec un seuil de discrimination inférieur à celui du MDA. Cette nouvelle approche analytique devrait permettre de préciser si la stratégie de supplémentation des rations en antioxydants chez le bovin en phase de finition permet de protéger efficacement les AGPI n-3 des viandes, AGPI considérés comme les plus bénéfiques pour l'homme.

Références

Agarwal R. & Chase S. D. 2002. Chrom. B. Analyt. Technol. Biomed. Life Sci. 775, 121-6.
Asselin C., Bouchard B., Tardif J-C., Des Rosiers C. 2006. Free Radic. Biol. Med.. 41, 97-105
Chirase N.K., Greene W., Purdy C.W. 2004. Am. J. Veterinary Res. 65,860-864.
Esterbauer H., Schaur R. J. and Zollner H. 1991. Free Radic. Biol. Med. 11, 81-128.
Gladine C., Morand C., Rock E., Bauchart D., Durand. D. 2007. An. Feed Sci. Techn. 136, 281-296.
Gobert M., Gruffat D., Habeanu M., Parafita E., Bauchart D., Durand D. 2010. Meat Science. 85, 673-683.
Lesgards J-F., Robillard Frayne I., Comte B., Busseuil D., Rhéaume E., Tardif J-C., Des Rosiers C. 2009. Free Radic. Biol. Med. 47-10, 1375-1385.

SPECTROSCOPIE DANS LE PROCHE INFRA-ROUGE ET PREDICTION DE LA TENEUR EN LIPIDES DU FILET DE POULET

CHARTRIN P. [1], ROUSSEAU X. [2], GIGAUD V. [2], BASTIANELLI D. [3], BAEZA E. [1]

[1] INRA, UR 83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France
[2] ITAVI, UR 83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France
[3] CIRAD, Laboratoire d'Alimentation Animale, Baillarguet, F-34398 Montpellier Cedex 05, France

Introduction

L'analyse de la composition chimique de la viande est nécessaire pour contrôler la qualité des produits dans l'industrie agro-alimentaire ou dans le cadre d'études scientifiques en nutrition ou génétique par exemple. Les mesures les plus courantes concernent la détermination des teneurs en eau, lipides ou protéines voire de composés plus spécifiques comme la nature des acides gras. Ces analyses chimiques ne présentent pas de difficultés particulières mais dès que cela concerne un grand nombre d'échantillons, elles nécessitent beaucoup de travail, sont coûteuses et requièrent des délais importants avant l'obtention des résultats.
La spectroscopie dans le proche infra-rouge (SPIR) est une méthode analytique basée sur l'absorption de la lumière (λ=800-2500 nm) par les composés organiques. Le niveau d'absorption dépend de la nature et de la quantité de liaisons chimiques et par conséquent de la composition chimique du produit. Après une calibration spécifique de chaque paramètre à mesurer, l'utilisation de l'appareil est facile et rapide, permettant la prédiction de la composition chimique de centaines d'échantillons à un faible coût. Il est également possible d'installer des systèmes de mesure en ligne sur les chaînes de production des industries agro-alimentaires. Cette technique a déjà été testée pour prédire certains déterminants de la qualité de la viande de plusieurs espèces (Prevolnik *et al.*, 2004) y compris celle du poulet (Windham *et al.*, 2003).
Notre étude, conduite dans le cadre d'une large enquête réalisée en collaboration avec différents abattoirs français, a pour objectif d'évaluer la variabilité de la qualité des filets de poulets provenant de différents systèmes de production (standard, Label Rouge) et de déterminer, entre autres, la teneur en lipides d'un grand nombre d'échantillons. A cet effet, nous avons comparé différents équipements et différentes méthodes pour l'acquisition de spectres afin d'optimiser l'utilisation du SPIR pour des applications futures.

Matériel et méthodes

Au total, 877 filets de poulets de souches lourdes en 2008 et 457 filets de poulets Label Rouge en 2009, on été analysés par cette méthode. Les filets ont été obtenus auprès de différents abattoirs Français. En 2008, une première mesure spectrométrique a été effectuée directement sur le filet (*Pectoralis major*), 24 h après abattage-ressuage et juste après la découpe des carcasses. Des échantillons de viande (environ 60 g par échantillon) provenant respectivement de 228 et 271 filets collectés en 2008 et 2009, ont été broyés et stockés à -20°C dans l'attente des mesures spectrométriques et chimiques ultérieures.
Deux spectromètres ont été testés : un appareil de laboratoire Büchi Nirflex N-500 (1000-2500 nm) équipé avec un module pour l'analyse de solides et un appareil portable ASD Labspec Pro (350-2500 nm) équipé d'une sonde de contact. Toutes les mesures ont été réalisées en mode réflexion.
Deux types de mesure ont été effectués :

- une mesure directe sur le muscle avec le spectromètre ASD juste après la découpe des carcasses réalisée 24 h après l'abattage et un ressuage à +4°C. Pour chaque filet, 8 spectres (4 points de mesure répétés 2 fois) ont été saisis. Les sites de mesure étaient standardisés correspondant aux zones crâniale, distale, droite et gauche de la face interne du filet.
- une mesure avec le spectromètre Büchi sur un échantillon de filet broyé après décongélation (12 h à +4°C) et présenté dans une boîte de Pétri en verre (diamètre de 9 cm). Chaque échantillon était mesuré trois fois et une moyenne des spectres était réalisée.

Tous les échantillons de filets collectés ont aussi été analysés avec les méthodes de laboratoire de référence : extraction de lipides à froid avec un mélange de chloroforme-méthanol (Folch *et al.*, 1957) et teneur en eau (étuve à 104°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant). Pour certains échantillons, ces analyses ont été répétées deux fois afin de déterminer la répétabilité des mesures de référence.
Les spectres obtenus avec l'appareil ASD ont été traités avec le logiciel WINISI (Infrasoft Int., Port Matilda, PA, USA). Les spectres acquis avec l'appareil Büchi ont été traités avec le logiciel Nirware. Pour l'équipement ASD, les longueurs d'onde du visible (400-800 nm) n'ont pas été utilisées afin d'éviter l'obtention de modèles trop sensibles prenant en compte des différences de couleur non reliées à la composition chimique. Les longueurs d'onde responsables d'un bruit de fond important (>1800 nm) ont également été écartées de l'analyse statistique.
Les pré-traitements mathématiques des spectres avaient pour objectif d'optimiser les performances des modèles de prédiction. Pour les spectres acquis avec l'appareil ASD, le traitement mathématique optimal consistait à calculer une

dérivée première après des étapes de normalisation et lissage sur 10 mesures (procédure WINISI SNV 1, 10, 5). Pour ceux acquis avec l'appareil Büchi, nous avons calculé une dérivée seconde après des étapes de normalisation et lissage sur 9 mesures (procédure Nirware SNV 2, 9, 3).
Les équations de calibration ont été établies grâce à une régression PLS (Partial Least Square). Les performances de calibration sont estimées par le coefficient de détermination (R^2), l'erreur de calibration standard résiduelle (SEC) et l'erreur de calibration croisée (SECV). Le ratio RPD = SD/SECV représentait un critère de qualité synthétique du modèle pour les résultats de spectres (SD = « standard deviation »).
La procédure de validation des modèles de prédiction a été réalisée en deux étapes. En premier lieu, nous avons testé une validation croisée. Chaque échantillon ayant été mesuré trois fois, nous avons comparé notre base de données contenant deux répétitions avec les résultats constitués par la troisième répétition. Puis, nous avons effectué une véritable validation avec de nouveaux échantillons indépendants de la base précédente. Pour cela, nous avons utilisé notre base de données pour prédire la teneur en lipides de 698 filets de poulets Label Rouge collectés lors d'une expérimentation en 2009. Parmi ces nouveaux échantillons, 35 ont été analysés avec la méthode de référence Folch et nous avons comparé les résultats issus de l'analyse de laboratoire avec ceux estimés par le SPIR.

Résultats et discussion

Les spectres obtenus avec les deux appareils ont la même allure générale. Ils sont caractérisés par d'importants pics d'absorption correspondant à l'eau à 980, 1450 et 1950 nm.
La prédiction de la teneur en lipides la plus précise a été obtenue avec les spectres Büchi mesurés sur les échantillons broyés. Ce résultat semble logique car ces mesures ont été réalisées en conditions standard sur des échantillons homogènes et similaires à ceux utilisés pour l'analyse avec la méthode de laboratoire de référence. Dans ces conditions, la valeur de SEC était de 0,21%, valeur équivalente à celle obtenue avec la méthode de laboratoire de référence (0,20%). La validation croisée (SECV) donnait une erreur de 0,24% (R^2=0,83) et la valeur de RPD était de 1,95. Dans des conditions similaires, Cozzolino *et al.* (1996) ont obtenu un SECV de 0,54% dans la viande de poulet. Berzaghi *et al.* (2005) ont obtenu 0,24% mais avec un nombre d'échantillons plus faible.
Pour la teneur en eau, le modèle obtenu avec le spectomètre Büchi avait un SEC de 0,46% et un SECV de 0,50% (R^2= 0,44). La valeur de RPD était faible (0,58) du fait de la faible variabilité des résultats. La précision de la mesure de la teneur en eau dépend aussi des conditions de stockage des échantillons. Les spectres ont été mesurés sur des échantillons congelés-décongelés. Par conséquent, l'eau libre pourrait interférer avec les mesures SPIR. Toutefois, les performances de calibration obtenues pour la teneur en eau dans notre étude ont été meilleures que celles rapportées par Cozzolino *et al.* (1996, 0,70%) mais moins bonnes que celles de Berzaghi *et al.* (2005, 0,19% pour la matière sèche) pour la viande de poulet. Les spectres mesurés directement sur les filets, juste après la découpe des carcasses avec le spectromètre ASD ont fourni des calibrations moins précises que celles obtenues avec le spectromètre Büchi sur des échantillons broyés. Les valeurs de SEC et SECV étaient plus élevées (0,31 et 0,37%, respectivement avec R^2=0,68) et celle de RPD (1,51) était plus faible que celles obtenues avec les échantillons broyés.
Pour la validation réelle, la valeur moyenne et l'écart-type de la teneur en lipides des filets étaient 1,04 ± 0,23%. Nous avons comparé les résultats estimés avec ceux issus de l'analyse de laboratoire des mêmes échantillons en utilisant un test du Chi 2. La valeur de P était de 0,26 ce qui montre que les deux jeux de valeurs n'étaient pas différents ce qui valide la fiabilité de notre méthode de prédiction.

Conclusion

Cette étude a confirmé la possibilité d'utiliser la SPIR pour estimer les teneurs en eau et lipides des filets de poulets. Elle a aussi permis de définir les conditions optimales de mesure en montrant que les prédictions obtenues avec des échantillons broyés sont meilleures que celles déterminées par mesure directe sur les filets en abattoir. Toutefois, les mesures réalisées sur les filets entiers avec l'appareil portable ASD ont permis d'établir des calibrations avec une précision correcte. La mesure de spectres avec l'équipement ASD est rapide et ne nécessite pas de préparation préalable des échantillons. Par conséquent, cette méthode peut être intéressante pour des applications pratiques en conditions industrielles. Le modèle de prédiction que nous avons développé nous aura permis de prédire la teneur en lipides de 2034 filets de poulets d'origines différentes.

Références

Berzaghi P., Dalle Zotte A., Jansson L.M., Andrighetto I., 2005. Poult. Sci., 84, 128-136.
Cozzolino D., Murray I., Paterson R., Scaife J.R., 1996. J. Near Infrared Spectroscopy, 213-223.
Folch J, Lees M., Stanley H.S., 1957. J. Biol. Chem., 226, 497-509.
Prevolnik M., Candek-Potokar M., Skorjanc, D., 2004. Czech J. Anim. Sci., 49, 500-510.
Windham W.R., Lawrence K.C., Feldner P.W., 2003. J. Applied Poult. Res., 12, 69-73.

TECHNOLOGIES ET ENVIRONNEMENT

Conférence invitée

L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE ET L'ECO-CONCEPTION AU SERVICE DE L'AMELIORATION DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DES PROCEDES

OMONT S.[1], FROELICH D.[2], GESAN-GUIZIOU G.[3, 4]

[1]ARTS, laboratoire MAPIE, 73375 Le Bourget du Lac Cedex, France
[2]Arts & Métiers ParisTech Institut de Chambéry, laboratoire MAPIE, 73375 Le Bourget du Lac Cedex, France
[3]INRA, UMR1253 STLO, France
[4]AGROCAMPUS OUEST, UMR1253 STLO, 35042 Rennes Cedex

Introduction

D'après l'étude EIPRO - Environmental Impact of PROducts (Tukker A. et al., 2006), réalisée dans le cadre de la Politique Intégrée des Produits (Commission Européenne, 2006), l'alimentation et les boissons contribuent significativement à l'impact environnemental généré par la consommation des européens (de 20 à 30%) ; la viande et les produits carnés, puis dans une moindre mesure les produits laitiers, étant les principaux contributeurs.
La charge environnementale des produits alimentaires d'origine animale est principalement associée à leur production agricole (Foster C. et al., 2006) ; il est cependant intéressant de souligner qu'il existe des leviers d'amélioration environnementale à chaque étape du cycle de vie des produits alimentaires, y compris lors de leur transformation (Roy et al., 2009). A ce titre, comme l'explique Jungbluth (2000), l'industrie agroalimentaire peut directement agir sur trois niveaux de prise de décision environnementale, dont la transformation. L'étude IMPRO-meat & dairies - environmental IMprovement of PROducts (Weidema B. P. et al., 2008), réalisée en complément de l'étude EIPRO, va également dans ce sens. Parmi les voies qu'elle propose pour améliorer les performances environnementales de la viande et des produits laitiers, elle recommande de réduire les consommations énergétiques à chaque étape du cycle de vie de ces produits, y compris lors de leur transformation industrielle.
L'objectif de cet article est de présenter les deux grandes étapes d'une démarche visant à améliorer les performances environnementales d'un procédé : 1- L'évaluation environnementale du procédé ; 2- L'éco-conception du procédé intégrant les leviers d'amélioration environnementale identifiés lors de l'évaluation. Cette présentation sera illustrée par la retranscription des travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche ECOPROM[1].

I- L'évaluation environnementale des procédés alimentaires

▪ Généralités

L'évaluation environnementale permet de réaliser le profil environnemental d'un produit, service ou procédé. Plusieurs méthodes d'évaluation environnementale ont été développées. Elles permettent, selon le cas, de réaliser une évaluation quantitative ou qualitative, prenant en compte une ou plusieurs catégories d'impact (mono ou multicritère), et portant sur une ou plusieurs étapes du cycle de vie du produit, service ou procédé étudié. Dans le cadre de cet article nous allons présenter l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), méthode d'évaluation environnementale multicritère prenant en compte l'ensemble du cycle de vie du produit, service ou procédé étudié.

▪ Analyse de Cycle de Vie

Définition :
L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) permet d'évaluer les impacts environnementaux que génère un produit, procédé ou service dans le cadre d'une fonction particulière, tout au long de son cycle de vie. Il s'agit d'une méthode normée par le système de normalisation international ISO (ISO 14040 : 2006, et ISO 14044 : 2006). La norme ISO 14040:2006 spécifie les principes et le cadre applicables à la réalisation d'analyses du cycle de vie. La norme ISO 14044:2006 fixe, quant à elle, les exigences et fournit les lignes directrices pour la réalisation d'une ACV. Notre présentation de l'ACV se basera principalement sur le contenu de ces deux normes. Par souci de simplification, et conformément aux normes précitées, nous qualifierons de « système » tout produit, procédé ou service faisant l'objet d'une ACV.

Applications :
D'une façon générale, l'ACV peut avoir différentes applications. Elle peut par exemple être utilisée dans le cadre de la communication environnementale faite sur un système : déclaration environnementale relative à un produit, étiquetage écologique…

---

[1] ECOPROM : Eco-Conception de Procédés à Membranes, projet réalisé avec le soutien fiancé de l'« ANR-Agence Nationale de la Recherche – The French national Research agency », dans le cadre du « Programme National de Recherche en Alimentation et Nutrition humaine » (Projet « ANR-06-PNRA-015 »).

Elle peut également être utilisée pour comparer les performances environnementales de plusieurs systèmes, ou pour identifier quelle sont les étapes du cycle de vie d'un système les plus impactantes. Dans le cadre de cet article, l'ACV sera considérée comme un outil d'aide à la décision pour l'éco-conception, permettant d'identifier les possibilités d'amélioration de la performance environnementale du système étudié, à chaque étape de son cycle de vie.

Réalisation :
La réalisation d'une ACV conformément aux 2 normes de la série ISO 14040, se déroule en 4 étapes :

1- Définition des objectifs et du champ de l'étude

Les objectifs et le champ de l'étude déterminent les règles selon lesquelles sera conduite l'ACV. Il est donc nécessaire de les fixer et de les décrire dès cette première étape. La définition des objectifs consiste notamment à fixer la ou les future(s) application(s) de l'ACV. Les principaux éléments du champ de l'étude sont les suivants : Le système étudié - produit, procédé ou service faisant l'étude ; les limites du système - périmètre de l'étude ; l'Unité Fonctionnelle (UF) du système étudié - fonction du système prise comme référence pour l'étude ; les règles d'allocation - règles d'affectation des impacts entre les différents co-produits du système ; la méthode d'évaluation d'impact - méthode choisie en fonction du système étudié et des objectifs de l'étude ;

2- Réalisation de l'Inventaire du Cycle de Vie

L'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) consiste à recenser l'ensemble des « flux élémentaires » échangés par le système avec l'environnement. Il s'agit ici de matière ou d'énergie, directement extraite de l'environnement ou émise dans l'environnement (ex : minerais). Pour réaliser cet inventaire nous recensons l'ensemble des flux anthropogéniques (ex : consommation d'électricité) extraits et émis par le système, puis utilisons des bases de données d'ACV et un logiciel d'ACV capables de transcrire ces données en un inventaire de flux élémentaires.

3- Evaluation de l'impact

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation d'impact permettant d'évaluer différentes catégories d'impacts (ex : réchauffement climatique, eutrophisation aquatique…) à partir différentes voies de modélisation de l'impact. Certaines méthodes, dites « endpoint » agrègent ces catégories d'impacts dans des catégories de dommages sur différents éléments de l'environnement (ex : santé humaine, qualité de l'écosystème, épuisement des ressources). Le choix de la méthode utilisée doit notamment être cohérent avec les objectifs de l'ACV et le système étudié.
D'une façon générale, ces méthodes utilisent l'Inventaire de Cycle de Vie du système pour évaluer les conséquences environnementales d'un système. Elles classent les flux élémentaires de l'ICV en fonction de la catégorie d'impact auxquels ils contribuent (ex : regroupement des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) contribuant à l'impact « réchauffement climatique », tels que : CO_2, CH_4…). Puis elles calculent le score de chaque catégorie d'impact en sommant les flux élémentaires contributeurs après qu'ils aient été pondérés en fonction de leur degré de contribution à la catégorie d'impact considérée.

4- Interprétation

L'interprétation des résultats doit notamment permettre d'identifier les principaux enjeux de l'étude et de proposer des recommandations pour l'éco-conception.

- **ACV du procédé ECOPROM**

L'objectif du projet ECOPROM est d'éco-concevoir une cascade d'opérations à membranes permettant de séparer deux fractions enrichies d'α-lactalbumine et de β-lactoglobuline. Il s'agit d'un développement de process pour l'industrie laitière, qui se déroule selon les 4 étapes suivantes : 1- Description des choix technologiques d'un procédé initial ; 2- ACV de ce procédé initial pour identifier ses faiblesses et définir des recommandations d'éco-conception ; 3- Eco-conception du procédé initial ; 4- Validation et/ou amélioration des choix de conception par une ACV comparant le procédé éco-conçu au procédé initial. Nous présenterons dans cet article l'ACV du procédé à éco-concevoir, sur la base des premiers choix de technologiques proposés par les partenaires du projet (équipementier, industrie agroalimentaire, laboratoires de recherche et consultants).

1- Définition des objectifs et du champ de l'étude

L'objectif de cette ACV est de mettre en lumière les éléments qui nous permettront de définir des recommandations d'éco-conception en vue d'améliorer les performances environnementales du procédé étudié. Le système étudié est l'ensemble du procédé mis en œuvre depuis l'entrée du lait dans l'usine jusqu'à l'obtention de fractions déshydratées de protéines purifiées. Bien que notre objectif soit d'éco-concevoir les opérations unitaires de filtration, le système que nous étudions est élargi à l'ensemble des opérations de transformation de la matière première. Cela nous permettra ensuite de vérifier que l'optimisation des performances environnementales des opérations de filtration n'occasionne pas de modification(s) de process, en amont ou en aval, génératrice(s) de transferts de pollution. Pour chaque opération unitaire du procédé nous avons pris en compte les activités de production, les équipements et leur nettoyage, et exclu les locaux (bâtis, éclairage…). Le périmètre géographique de l'étude est la France. La durée de vie du système est fixée à 20 ans conformément à l'échelle de vie de nombreux procédés de transformation.

Le procédé étudié se déroule sur deux sites industriels distincts, séparés de 100 km (une laiterie « classique » et une unité de séparation des fractions de protéines), ce qui nécessite un transport du produit, pris en compte dans l'étude. Dans cette première étude le choix a été d'utiliser une unité fonctionnelle correspondant au traitement d'un volume de lait équivalent au volume traité quotidiennement dans une laiterie en France (583 000 L) et permettant d'obtenir les co-produits suivants : crème, rétentat de micelles de caséines et lactose refroidis, qui sont valorisés en dehors du procédé étudié, et les deux fractions de protéines purifiées déshydratées, qui sont les produits de valorisation. Dans un second temps, la comparaison entre le procédé initial et le procédé éco-conçu sera réalisée sur la base de propriétés définies du produit fini : ex : taux de pureté des protéines. L'objectif du projet étant d'étudier un procédé et non d'évaluer la charge environnementale générée par la fabrication de produits, nous n'avons volontairement pas établi de règle d'allocation entre les différents co-produits formés. Nous avons choisi d'utiliser la méthode d'évaluation d'impact IMPACT 2002+. Il s'agit d'une méthode relativement récente. Par ailleurs, elle évalue une catégorie d'impact correspondant à un flux qui nous semble *a priori* non négligeable dans le système étudié (consommation de gaz et électricité) : la consommation d'énergies non renouvelables.

2- Réalisation de l'Inventaire du Cycle de Vie

L'inventaire de cycle de vie a été réalisé à partir de données spécifiques au projet et de données génériques issues de la base de données d'ACV EcoInvent. Les données spécifiques correspondent aux flux maîtrisés, consommés ou émis par chaque opération unitaire (exemple : consommation électrique du moteur de l'écrémeuse : 1 035 kWh/jour). Compte tenu de l'unité fonctionnelle choisie les flux maîtrisés ont été quantifiés sur la base d'une journée de production. Le procédé étant en développement nous n'avons pu procéder à des mesures sur site : la majorité des données sont issues de connaissances industrielles. Les données relatives aux opérations non développées industriellement ont été estimées sur la base de calculs. Les données génériques correspondent à la production des flux maîtrisés (exemple : production d'électricité).

Afin de faciliter l'identification des sources d'impact puis des leviers d'amélioration, le système a été découpé en 4 sous-systèmes : « Production », « Nettoyage », « Equipements » mis en œuvre et « Transport » entre les deux sites industriels. Le sous-système « Production » comprend un enchaînement d'une trentaine d'opérations unitaires, qui ont été regroupées en 4 fonctions (cf. tableau 1) :

Opérations unitaires étudiées [a]	Fonctions accomplies
Refroidissement du lait entier cru à 4°C ; Pasteurisation du lait écrémé cru à 72°C ; Refroidissement du lait écrémé pasteurisé à 4°C°; Refroidissement du sérum concentré à 4°C ; Refroidissement de la crème crue à 6°C ; Refroidissement du rétentat de micelles de caséine à 4°C	1- Maîtrise de la sécurité microbiologique des produits
Ecrémage du lait entier cru ; Séparation protéines/ micelles de caséine (chauffage et microfiltration (MF) à 50°C) ; Refroidissement et séparation protéines sériques/ lactose (ultrafiltration (UF) à 15°C) ;	2- Transformation du lait pour la fabrication des co-produits
Séparation α-lactalbulmine et β lactoglobuline (chauffage à 50°C, acidification, dilution, MF) ; Concentration α-lactalbulmine (refroidissement, re-solubilisation et UF) ; Concentration béta lactoglobuline (refroidissement et UF)	3- Purification et concentration de l'α-lactalbulmine et de la β lactoglobuline
Séchage α-lactalbulmine ; séchage β lactoglobuline	4- Formation de la poudre

[a]Remarque : les stockages étant non réfrigérés ne figurent pas ici mais sont compris dans l'étude.

Tableau 1 : Description du sous-système « Production ».

Le sous système « Nettoyage » comprend l'ensemble des opérations unitaires de nettoyage. Chacune de ces opérations correspond au nettoyage d'un ou de plusieurs équipements en ligne. Elle nécessite de l'eau et des solutions de nettoyage (généralement réutilisées à l'exception des opérations à membranes dont l'usage unique est une pratique industrielle) et génère un effluent traité par une station d'épuration (STEP). Ces opérations consomment de l'électricité et le cas échéant nécessitent l'utilisation d'une chaudière pour le chauffage de l'eau et des solutions de nettoyage. Sur chacun des 2 sites, une STEP a été dimensionnée pour traiter la charge de DCO apportée quotidiennement par les effluents de nettoyage. L'impact du traitement de chaque effluent par l'une des deux stations est donc calculé à partir de sa DCO. La charge polluante de l'eau après traitement en sortie de STEP a été évaluée à partir des seuils de rejets réglementaires (JORF 1998, JRC 2006). Ne connaissant pas précisément le devenir des molécules tensio-actives et autres substances entrant dans la formulation des détergents, deux hypothèses extrêmes ont été émises : dans la première il est considéré qu'elles sont totalement dégradées avant rejet, dans la seconde il est supposé qu'elles ne le sont pas du tout. Nous avons ensuite testé leur potentiel impact dans le cadre d'une analyse de sensibilité entre ces deux situations limites.

Le sous système « Equipement » comprend principalement des cuves, des échangeurs à plaques, une écrémeuse, un pasteurisateur, des pompes, une tour de séchage et différents types d'installation de filtration membranaire : membranes polymères pour l'ultrafiltration et l'osmose inverse et membrane céramique pour la microfiltration. Les tuyauteries sont également comprises. Les équipements ont été dimensionnés pour le procédé étudié. Compte tenu des données disponibles, seules la nature et la masse de matériaux ont été prises en compte. Il s'agit d'estimations, à l'exception des masses de matériaux des installations membranaires, pour lesquelles nous avons les données. Pour chaque équipement, nous avons établi la masse de matériaux consommée (renouvellements compris) sur la durée de vie du système (20 ans) puis nous avons rapporté cette masse à une journée de fonctionnement. Les équipements sont évalués par groupe d'équipements participant à une même opération unitaire (exemple : un refroidissement nécessite : un échangeur à plaques, une pompe et des tuyauteries).
Le sous-système « Transport » correspond au transport reliant les deux sites distants de 100 km. Il est réalisé par un camion citerne.

3- Evaluation de l'impact

Les résultats ont été obtenus avec la méthode IMPACT 2002+. Pour une meilleure clarté, nous les commenterons en dommages normalisés. IMPACT 2002+ évalue la charge environnementale de notre système sur 14 catégories d'impact : toxicité humaine, effets respiratoires, radiations ionisantes, épuisement de la couche d'ozone, oxydation photochimique, écotoxicité aquatique, écotoxicité terrestre, acidification aquatique, eutrophisation aquatique, acidification terrestre, occupation de surfaces, réchauffement climatique, consommation d'énergies non-renouvelables et extraction de minéraux (Humbert S. et al., 2005). Elle propose ensuite une agrégation de ces impacts en 4 catégories de dommages : santé humaine, qualité de l'écosystème, changement climatique et ressources. Notons qu'en l'absence de données scientifiquement reconnues, il n'a pas été établi de facteur de caractérisation des dommages pour l'acidification aquatique et l'eutrophisation aquatique (Jolliet, 2003). Ces deux catégories d'impact ne sont donc pas prises en compte dans l'évaluation du dommage sur la qualité de l'écosystème, qui inclut cependant l'écotoxicité aquatique. Le rejet des stations d'épuration de notre système répondant aux normes de rejets réglementaires, nous estimons que la non-prise en compte de ces deux impacts dans les dommages ne remet pas en cause la pertinence de représenter les résultats sous forme de dommages. La normalisation permet ensuite de comparer les différentes catégories de dommages de notre système dans une même unité et par rapport à une même référence : la charge environnementale annuelle d'un Européen moyen pour ces mêmes catégories de dommage.

Les résultats correspondant à l'évaluation du système dans sa globalité (cf. Figure 1) montrent que son dommage prépondérant est l'épuisement des ressources. Le sous-système le plus contributeur à l'impact total du système est majoritairement la « Production », puis dans une moindre mesure, le « Nettoyage ». Ce premier résultat montre d'ores et déjà que dans le cadre de cette étude nous pourrons négliger les sous-systèmes « Equipements » et « Transport », car ils ne constituent pas une source d'amélioration environnementale significative.

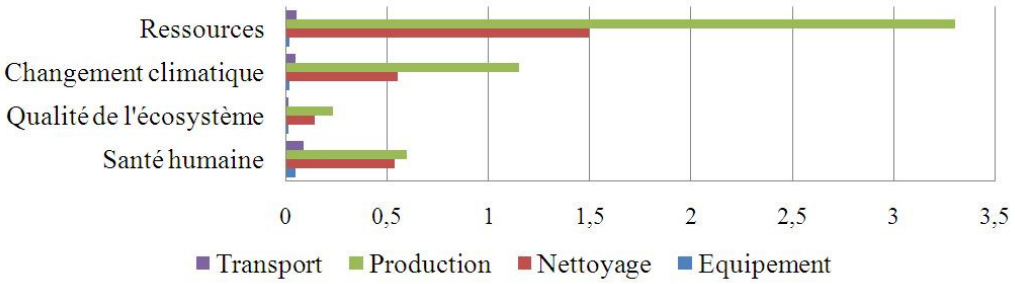


Figure 1 : Comparaison des 4 composantes du système, d'après la méthode IMPACT 2002+ dommages normalisés, logiciel SIMAPRO

Le principal dommage du sous-système « Production » (cf. Figure 2) est l'épuisement des ressources, qui révèle le fort impact de la consommation énergétique du procédé étudié. Dans ce sous-système, la fonction « Maîtrise de la qualité microbiologique » est assurée par des opérations consommatrices de gaz (pasteurisation) et d'électricité (refroidissements). La principale source d'impact de la fonction « Traitement du lait » est la séparation protéines/ micelles de caséine et est réalisée par une microfiltration à 50°C. Elle nécessite un chauffage consommateur de gaz et est elle-même consommatrice d'électricité (fonctionnement des pompes pour la filtration du fluide et refroidissement du fluide filtré pour le maintenir en température). En effet, comme le souligne Notarnicola (2008) dans ses travaux sur l'osmose inverse, les étapes de filtration membranaires sont très consommatrices d'électricité. La source majeure d'impact de la « Purification des protéines » est liée à la séparation des protéines : le chauffage et la microfiltration, sont les plus impactants. L'étape de précipitation par acidification de l'α-lactalbumine apparaît dans une moindre mesure. Notons que ce dernier résultat reste à confirmer car dans un premier temps, en l'absence de données sur l'acide citrique utilisée pour cette opération, nous avons procédé à une approximation. Enfin, la charge environnementale du « Séchage des protéines » est associée à sa consommation de gaz.

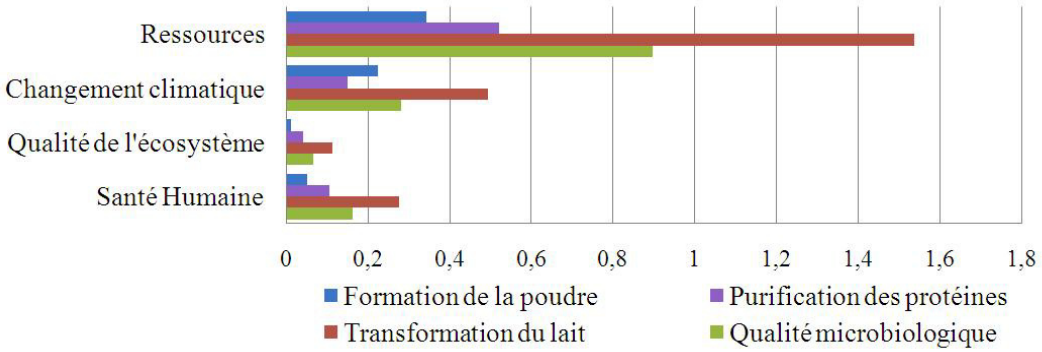


Figure 2 : Comparaison des 4 fonctions du sous-système « Production », d'après la méthode IMPACT 2002+ dommages normalisés, logiciel SIMAPRO

Le principal dommage du sous-système « Nettoyage » (cf. Figure 3) est lié à la consommation électrique de la STEP, puis dans une moindre mesure, à la production de soude utilisée pour les solutions de nettoyage à usage unique (nettoyage des opérations à membranes) et enfin au chauffage de certaines solutions de nettoyage. A ce titre, le nettoyage de la première microfiltration est le plus impactant. Notons que les nettoyages consomment de grandes quantités d'eau, rejetée dans le milieu aquatique après traitement. Comme le soulignent Pfister et al (2009), si le prélèvement d'eau subit une perte de qualité et/ou s'il est transféré vers un autre bassin versant, cela correspond à une diminution des ressources en eau douce. Par ailleurs, comme le souligne Koehler (2008), bien que le cadre méthodologique de l'ACV soit adapté à ce type d'évaluation, les méthodes d'évaluation d'impact négligent cet aspect. La méthode IMPACT 2002+ ne comptabilisant pas l'eau dans l'épuisement des ressources, la charge environnementale réelle des nettoyages risque d'être sous-estimée. De la même façon, les substances de nettoyage testées dans le cadre de l'analyse de sensibilité : EDTA et hypochlorite de sodium ne sont pas prises en compte par la méthode. Nous n'évaluons donc pas le potentiel impact de leur éventuelle émission dans le milieu aquatique.

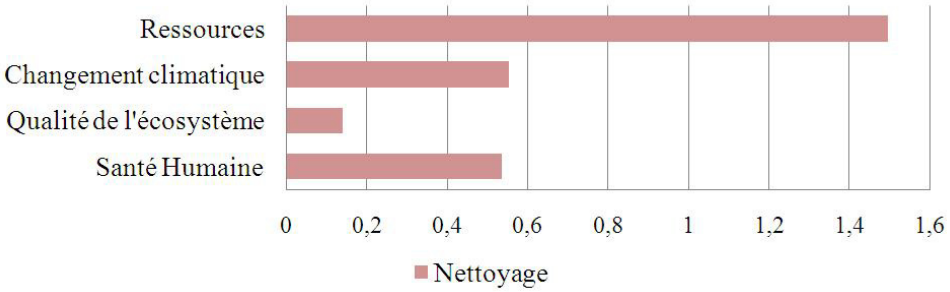


Figure 3 : Système « Nettoyage », d'après la méthode IMPACT 2002+ dommages normalisés, logiciel SIMAPRO

4- Interprétation

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence des leviers d'amélioration environnementale en vue d'établir des recommandations d'éco-conception. Les résultats obtenus, nous ont ainsi permis d'identifier les principales sources d'impact du procédé et par là même ses principales sources d'amélioration environnementales, à savoir les sous-systèmes « Production » et « Nettoyage ». Ils nous ont ensuite révélé que le principal impact du procédé était lié à ses consommations énergétiques. Par ailleurs, la réalisation de l'inventaire a mis en évidence la consommation de grandes quantités d'eau par les nettoyages. Bien que l'impact sur l'environnement des consommations d'eau douce ne soit à ce jour pas évalué par les méthodes d'ACV, ce paramètre ne doit pas être négligé. La fabrication de substances utilisées pour les nettoyages s'est, dans certains cas, révélée être consommatrice d'électricité. Par ailleurs, l'évaluation d'une éventuelle émission de ces substances dans le milieu aquatique n'a pu être testée. Enfin, la synthèse bibliographique réalisée dans le cadre de l'étude a permis de mettre en évidence que la production de la matière première, le lait, a un impact prépondérant sur l'ensemble du cycle de vie des produits laitiers.
Le principal levier d'amélioration mis en évidence par cette étude est donc l'économie des ressources : énergie, eau, substances et matière première agricole.
Notons que l'opération unitaire qui regroupe l'ensemble de ces caractéristiques est la microfiltration réalisée à 50°C. En effet, le chauffage du lait, bien qu'en parti réalisé à partir d'une récupération d'énergie, est consommateur de gaz. Le fonctionnement des pompes pour la filtration du fluide et le refroidissement du fluide filtré pour son maintien en température, consomment de l'électricité. Enfin le nettoyage des membranes est réalisé avec des solutions chauffées à usage unique.

II- L'éco-conception des procédés alimentaires

- **Généralités**

L'éco-conception consiste à intégrer des contraintes environnementales durant la conception et le développement des produits et/ou des services (ISO : 14062), en vue de réduire leur impact environnemental. Tout comme l'ACV, il s'agit d'une démarche multicritère basée sur le cycle de vie. Différents types d'outils d'éco-conception ont été développés, il s'agit principalement de normes, de listes, de guides, de logiciels et d'outils organisationnels (Janin M., 2000).
L'ACV constitue une première étape intéressante en ce sens où elle permet d'identifier les étapes du cycle de vie et les impacts environnementaux prépondérants, puis de les décliner en pistes d'amélioration et d'éco-conception pour les procédés.

- **Eco-conception du procédé ECOPROM**

Le premier objectif du projet ECOPROM est d'éco-concevoir les opérations de filtration membranaire. Les voies d'amélioration actuellement en cours de réalisation, sur la base des leviers d'amélioration environnementale que nous avons identifiés, sont les suivantes : 1- Le remplacement de la microfiltration à 50°C par une microfiltration à froid, moyennant des adaptations de process. 2- Par ailleurs, sachant que la phase de production agricole du lait est la plus impactante, il sera intéressant d'étudier la réduction des pertes de produits lors des nettoyages et en cours de production. Cela permettrait également de réduire la quantité de matière organique à traiter par la station d'épuration. 3- Enfin, nous prévoyons la construction d'un indicateur de flux, simple, permettant de quantifier les consommations d'eau. Il nous permettra ainsi de suivre les améliorations apportées par la mise en place de recyclages d'eau. L'ensemble des modifications de process seront ensuite évaluées dans le cadre d'une ACV comparative, prenant en compte l'ensemble du système, et visant à vérifier l'amélioration des performances environnementales et l'absence de transfert de pollution (par exemple lors des adaptations de process générées par le remplacement de la microfiltration à 50°C).

Le second objectif du projet est de proposer une démarche d'éco-conception simple et facilement applicable par les entreprises du secteur d'activité étudié. Celle-ci est actuellement en développement avec l'ensemble des partenaires du projet. Comme l'indique la Figure 4, cette démarche se basera sur les résultats de l'ACV du procédé, mais prendra également en compte les contraintes exercées sur l'entreprise et notamment : les exigences réglementaires, l'image et la faisabilité technico-économique. Notons à ce titre que l'éco-conception ne devra en aucun cas remettre en cause la maîtrise de la sécurité sanitaire des produits. Notons également que le secteur agroalimentaire devrait prochainement être soumis à un affichage environnemental de ses produits (JORF, 2010). Les travaux relatifs à la mise en place de cet étiquetage sont en cours. Cependant, en prévision de cet affichage, nous avons ajouté aux leviers d'amélioration environnementale mis en évidence par l'ACV, les émissions de CO_2 (cf. « Impacts principaux » Figure 4).

La démarche d'éco-conception prévoit de raisonner en termes de fonctions accomplies par le procédé : 1- Définition de la ou des fonction(s) attendue(s) du procédé pour répondre aux besoins de l'entreprise ; 2- Proposition d'options technologiques permettant d'y répondre avec prise en compte des critères environnementaux par les concepteurs ; 3- Evaluation environnementale de ces options par les concepteurs. Cette démarche s'appliquera à 2 niveaux : 1- L'éco-conception du procédé lui-même, par l'amélioration des opérations unitaires existantes ou par le choix de nouvelles technologies permettant d'accomplir les mêmes fonctions (ex : séparation des 2 fractions de protéines) ; 2- L'éco-conception du site industriel dans lequel le procédé est mis en œuvre (diminution des pertes énergétiques, choix des sources énergétiques, mise en place de synergies éco-industrielles…). Dans le cas d'une optimisation de process, la validation environnementale des modifications apportées pourra être réalisée lors d'une ACV simplifiée de l'ensemble du système, se limitant aux principaux flux et impacts précédemment identifiés comme étant prépondérants (cf. leviers d'amélioration). Dans le cas d'une rupture technologique, il sera nécessaire de vérifier l'absence d'apparition d'un nouvel impact, par une ACV classique. Dans tous les cas, il s'agit d'une démarche itérative : après plusieurs cycles d'amélioration, il sera nécessaire de réaliser une ACV complète du procédé pour identifier ses nouvelles pistes d'amélioration.

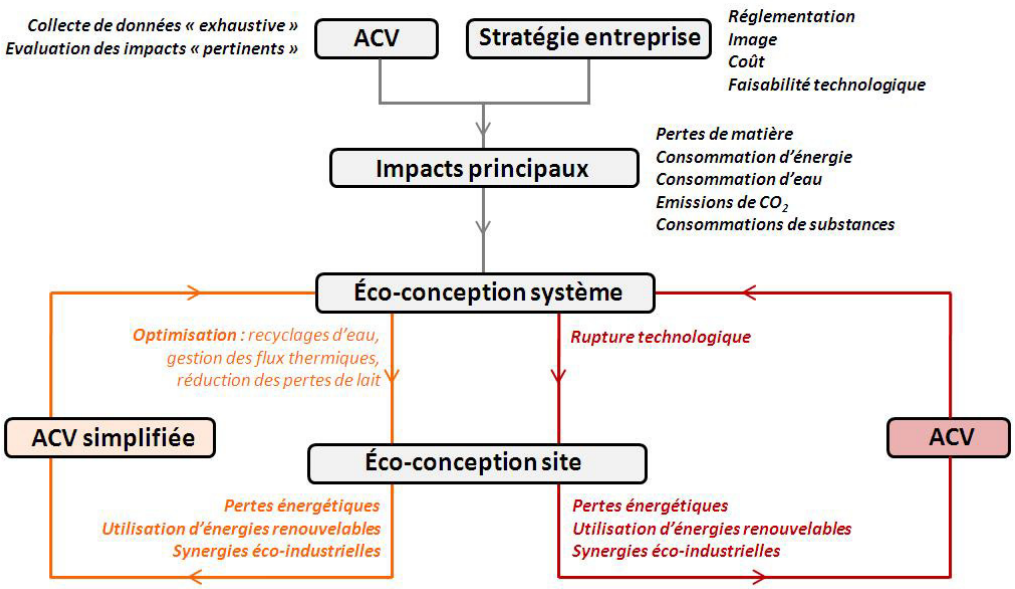


Figure 4 : Schématisation de la démarche suivie dans le projet ECOPROM.

Conclusions

Les travaux que nous avons réalisés dans le cadre du projet ECOPROM confirment que l'ACV et l'éco-conception sont adaptées à l'amélioration environnementale des procédés agroalimentaires. En effet, comme le suggère Berlin (2002), il est intéressant d'exclure la phase de production agricole du lait de l'ACV, pour se concentrer sur les activités des laiteries considérées plus faciles à améliorer. Il est cependant important de souligner que les méthodes d'évaluation environnementale actuelles ne permettent pas de quantifier l'impact généré sur l'environnement par les prélèvements d'eau douce. Or l'industrie agroalimentaire prélève d'importantes quantités d'eau (Maxime D., 2005). Ce paramètre ne peut donc être négligé et doit être contrôlé avec d'autres outils (ex : indicateur de flux). L'éco-conception, permet quant à elle d'aider les concepteurs à opter pour des choix technologiques plus respectueux de l'environnement. Elle constitue par ailleurs un outil pédagogique dans l'entreprise, en ce sens où chaque acteur prend connaissance des conséquences environnementales que peuvent avoir les opérations unitaires dont il a la responsabilité, sur les opérations en amont ou en aval (ex : conséquences de la conduite des nettoyages sur le traitement des effluents).

Remerciements

Sincères remerciements à l'ensemble des partenaires du projet ECOPROM pour leur implication dans l'ACV et la démarche d'éco-conception : P. OSSET et F. THUEUX (ECOBILAN SA), M. RABILLER-BAUDRY (Université Rennes 1, UMR 6226 « Sciences Chimiques de Rennes » CNRS), D. BEUDON (SOREDAB SA), L. TREGRET (Novasep Process), C. BUSON et D. AUFFRET (GES).

Références bibliographiques

Berlin J. (2002), Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese, International Dairy Journal, vol. 12, no11, pp. 939-953

Commission des communautés européennes, COM(2003) 302 final, Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen, Politique intégrée des produits, Développement d'une réflexion environnementale axée sur le cycle de vie

Foster C., Green K., Bleda M., Dewick P., Evans B., Flynn A., Mylan J., (2006), Environmental Impacts of Food Production and Consumption, A research report completed for the Department for Environment Food and Rural Affairs Manchester Business School. Defra London

Humbert S., Margni M., Jolliet O, (2005), IMPACT 2002+ User Guide Draft for version 2.1

ISO 14040 : 2006, Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Principes et cadre, Juillet 2006

ISO 14044 : 2006, Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Exigences et lignes directrices, Juillet 2006

ISO/TR 14062 : 2002, Management environnemental -- Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit, Janvier 2003

Janin M., 2000, Démarche d'éco-conception en entreprise. Un enjeu : construire la cohérence entre outils et processus, mémoire de thèse doctorale

Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G. and Rosenbaum R., (2003) IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology, The International Journal of Life Cycle Assessment, Volume 8, Number 6, 324-330

JORF (1998), Arrêté du 02/02/98 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation modifié, JORF n° 52 du 3 mars 1998

JORF (2010), LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, JORF n°0160 du 13 juillet 2010

JRC (2006), Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries, (2006), European Commission

Jungbluth N., Tietje O., Scholz R. W., (2000): Food Purchases: Impact from the Consumers' Point of View investigated with a modular LCA, International Journal of Life Cycle Assessment, 5 (3) 134/142

Koehler A. (2008), Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources, Editorial of the International Journal of Life Cycle Assessment (2008) 13:451-455

Maxime D, Marcotte M, Arcand Y., (2005), Consommation d'eau et formation d'effluents, Pages 188 – 189 dans Lefebvre, A., W. Eilers et B. Chunn (éd.). 2005. L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport N o 2. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P., Settanni E., (2008) Life cycle assessment of a pilot plant for the must enrichment by reverse osmosis, Proc. of the 6th Int. Conf. on LCA in the Agri-Food Sector, Zurich, November 12–14, 2008, 115-122

Pfister S., Koehler A., Hellweg S. (2009) Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA, Environmental Science & Technology, 43, 4098–4104.

Roy P. et al. (2009), A review of life cycle assessment (LCA) on some food products, Journal of Food Engineering 90 1–10

Tukker A., Huppes G., Guinée J., Heijungs R., de Koning, Lauran van Oers A., Suh S., Geerken T., Van Holderbeke M., Jansen B., Nielsen P., (2006), Environmental Impact of Products (EIPRO) Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25, Editors: Peter Eder and Luis Del, 22284 EN

Weidema B. P., Wesnæs M., Hermansen J., Kristensen T. and Halberg N, (2008), Environmental Improvement Potentials of Meat and Dairy Products, Editors: Peter Eder and Luis Del, 23491 EN

PROCEDES DE TRANSFORMATION ET DE CONSERVATION

Conférences invitées

Communications

LA FILIERE FRANÇAISE DES PRODUITS AQUATIQUES. MARCHE, RISQUES SANITAIRES, EVOLUTIONS RECENTES ET PRESENTATION DE QUELQUES ENJEUX TECHNOLOGIQUES

LE FUR B.

HALIOMER - 15/17, rue de Magenta - 62200 Boulogne-sur-Mer
Tél: 03 21 83 91 31 - Fax: 03 21 87 46 83 - Site: www.haliomer.fr; mail : bruno.lefur@haliomer.fr

Le marché français des produits aquatiques

La production mondiale des produits de la pêche et de l'aquaculture est d'environ 130 millions de tonnes *(MT)*, sur lesquelles un peu plus de 100 MT sont destinées à l'alimentation humaine, et un peu moins de 30 MT sont destinées à des traitements industriels *(production de farine essentiellement)*. Les captures mondiales plafonnent à environ 80 MT et la ressource est globalement surexploitée. L'aquaculture représente donc une part importante *(environ 50 MT)* de la production mondiale de produits aquatiques, et cette part est en croissance constante.

La production française est un peu supérieure à 700 000 tonnes *(année 2008)*, soit à peine plus de 0,5 % de la production mondiale.

La pêche représente environ 65 % de cette production nationale, avec 463 100 tonnes. La pêche fraîche représente environ 300 000 tonnes, pour une valeur de 940 M€, et la pêche congelée représente un peu moins de 162 000 tonnes *(dont une majorité de thon tropical destiné à l'industrie de la conserve)*, pour une valeur qui s'élève à 180 M€. La pêche fraîche est donc dominante en termes de tonnages *(le ratio pêche fraîche/ pêche congelée est de 65/35)*. Mais il est important de noter qu'elle l'est encore plus en terme de valeur. Ainsi, le ratio précédent s'élève à 85/15 si on l'exprime en valeur et non plus en tonnages : la filière pêche française est donc essentiellement une filière de pêche fraîche.

La production aquacole française est d'environ 245 000 tonnes, sur lesquelles la conchyliculture représente environ 80 %, avec 193 650 tonnes, pour une valeur de 400 M€. La pisciculture continentale représente environ 50 000 tonnes *(dont une majorité de truite)* pour une valeur de 180 M€. La pisciculture marine produit un peu plus de 6 000 tonnes pour une valeur de 47 M€. La quasi-totalité de la production aquacole française est commercialisée en frais.

62% des espèces produites en France sont des poissons, 33% des coquillages, 2% des crustacés et près de 3% des céphalopodes.

La consommation française de produits aquatiques se porte bien. Le consommateur a une image de la mer globalement très positive. La consommation de produits aquatiques est passée de 12 kg par personne en 1975, à 25 kg/personne en 1988, pour atteindre aujourd'hui 34,5 kg / personne *(en équivalent poids vif)*. Le taux de croissance moyen annuel au cours des 10 dernières années est de 1,3%. En 2009, les sommes dépensées (6,5 MM€) par les ménages français se répartissaient de la façon suivante :
- 36% de produits frais (dont 48% de filets, 20% de poissons entiers, 23% de coquillages et céphalopodes et 9% de crustacés).
- 29% de produits traiteurs réfrigérés (dont 35% de produits fumés, salés, séchés, 19% de crevettes cuites, 15% de surimi, et 31% d'autres tels que marinades et tartinables).
- 21% de produits surgelés (dont 49% de poissons, 18% de coquillages et céphalopodes, 22% de plats préparés et 11% de crustacés).
- 14% de conserves (dont 48% de thon, 14% de sardine, 13% de maquereau, 7% de salades et 18% d'autres produits).

Essentiellement trois produits tirent les achats de produits aquatiques : saumon, crevette et cabillaud.
La consommation est essentiellement orientée sur le frais, et le consommateur a globalement une préférence pour les produits frais / réfrigérés même si le prix de vente des produits frais est généralement supérieur à celui des mêmes produits congelés ou en conserve.

Mais la filière française des produits aquatiques connaît aussi des difficultés :
- Contrairement aux autres filières alimentaires, c'est une filière qui est confrontée à des problèmes de ressources, en particulier sur les espèces sauvages prisées. La pêche française doit aussi faire face à une réduction régulière des quotas de pêche et à l'augmentation des prix du pétrole (le gasoil représentant une part importante de l'exploitation des navires

de pêche). En conséquence, les volumes débarqués en France diminuent régulièrement chaque année (Les volumes de produits aquatiques frais débarqués par la pêche française ont diminué de 25% ces 10 dernières années).
A ce stade, il est cependant important de signaler que l'on ne manque pas de poisson en France. L'import permet de compenser une certaine décroissance des tonnages débarqués et de satisfaire une consommation en augmentation. Les importations de produits aquatiques *(année 2009)* s'élèvent aujourd'hui à un peu plus de 1 100 000 tonnes *(pour un équivalent poids vif d'environ 2 181 000 tonnes)* et une valeur de 4 038 millions d'euros *(M€)*. Elles ont augmenté de plus de 35% ces 10 dernières années. Les importations concernent majoritairement des produits aquatiques surgelés (38%), puis des produits frais (32%), des conserves (20%), des produits salés / séchés / fumés (2%) et des produits à usage non alimentaire (8%).
Les exportations s'élevant à près de 350 000 tonnes (pour une valeur de 1 185 M€), la balance commerciale française des produits aquatiques est structurellement déficitaire (En 2009, ce déficit s'élève à 2 853 M€). La France est donc un petit pays producteur, très dépendant des importations.
- Les importations sont réalisées à des coûts parfois très bas et très concurrentiels par rapport aux productions nationales *(le filet d'Alaska pollack, le tilapia ou le panga en sont de bons exemples)*. Par ailleurs, pour pallier à l'insuffisance et à l'irrégularité des approvisionnements en poisson frais, on assiste depuis peu à l'apparition d'un mouvement visant à approvisionner les rayons de poisson frais en poisson décongelé. Cette tendance correspond certainement à une évolution logique de la filière, liée notamment à la baisse de la ressource halieutique dans les pays développés. Mais elle représente un risque de concurrence supplémentaire pour les professionnels de la pêche fraîche française, déjà durement éprouvés par les problèmes de baisse de la ressource et d'augmentation du prix du pétrole. Par ailleurs, le développement des importations en provenance des pays tiers peut conduire à des dérives en termes de qualité sanitaire et sensorielle des produits. De nombreuses fraudes sont aussi observées dans les produits aquatiques d'importation (fraudes d'ajout d'eau, additifs illicites, injection de protéines…)
- Par ailleurs, dans leur grande majorité, les espèces pêchées sur les côtes de l'hexagone ne sont pas destinées à la transformation. Elles ne peuvent bien souvent pas être destinées à la transformation, notamment en raison de leur prix, trop élevé pour l'industrie. La question de leur disponibilité *(régularité des approvisionnements et des coûts)* intervient également. Les matières premières utilisées pour la transformation correspondent aux espèces les plus présentes sur le marché international : saumon, poisson blanc, crevettes, thon (Ces 4 espèces représentant plus de 60 % des tonnages de matières premières utilisées). En France, ces espèces sont majoritairement importées. En ce qui concerne le saumon, le taux de couverture de la consommation par la production nationale est proche de zéro. Concernant le poisson blanc le taux de couverture est de 20 % et, concernant les crevettes, il est de 4 %. Dans leur grande majorité, les espèces pêchées en France ne peuvent être destinées qu'au marché du frais, à travers les circuits de commercialisation du frais *(mareyage, poissonneries, GMS, marchés)*. Ainsi, les produits frais représentent les plus gros tonnages débarqués par la pêche française, et leur commercialisation s'effectue principalement en frais.
- Comme beaucoup d'autres filières, la filière aquatique est aussi confrontée à des risques d'ordre sanitaire, dont certains lui sont spécifiques. Ces risques sanitaires se révèlent être d'autant plus importants que la consommation concerne majoritairement, et de façon croissante, les produits aquatiques frais / réfrigérés.

Evolution (*France AGRIMER*)

Les volumes achetés de **produits frais** ont progressé en 2009 (+1,3%) par rapport à 2008. Cette hausse s'est réalisée grâce à un nombre de ménages acheteurs plus important, confirmant ainsi l'accroissement exceptionnel de 2008. Les prix sont restés stables. Grâce aux importations de saumon et de cabillaud, les achats de poissons frais ont enregistré une hausse importante (+3,1%).
L'année 2009 a été marquée par l'augmentation considérable des achats de cabillaud (+48%) dont le prix moyen d'achat a baissé de 11%, pour se situer à un niveau équivalent à celui du cabillaud surgelé. D'autres poissons blancs se sont également bien portés avec des volume en hausse (merlu merlan). Le saumon, de loin le poisson frais le plus consommé, a aussi poursuivi sa croissance (+7%) malgré un prix en légère hausse (+2%). Enfin, les achats d'autres poissons ont reculé, soit par manque de ressource (perche du Nil, tilapia, rouget barbet) soit en raison d'un prix élevé (sole).
Les achats de crustacés frais, après une année 2008 dynamique, se sont tassés. Ce sont les tourteaux et les araignées qui ont marqué le repli le plus important, tandis que les achats de crevettes crues et les langoustines ont été en large hausse.
Le marché des coquillages frais a été marqué en 2009 par un développement très important (+61%) des achats de noix de Saint-Jacques (principalement d'importation). Les huîtres et les bulots ont enregistré des achats en hausse, à l'inverse des moules. La consommation des ménages de céphalopodes frais s'est bien tenue en 2009.
En 2009, les achats des **produits traiteurs de la mer** se sont inscrits en nette hausse (+4,5%), tirés par ceux de crevettes cuites (+12%), de poissons fumés (+5%) et de surimi (+3%). Cette évolution est à mettre en relation avec une hausse des prix raisonnable, voire en baisse, nette pour les crevettes cuites (-4%) et plus modérée pour le surimi (-1%).
Pour la première fois depuis 2005, les achats de **produits surgelés** aquatiques ont régressé en 2009, de près de 3% en valeur et en volume. Ces évolutions sont à mettre en relation avec le fait que, pour les produits bruts, les prix des produits équivalent frais ont globalement baissé et atteint des niveaux très comparables à ceux des produits surgelés, et les consommateurs ont, sans doute, acheté préférentiellement les poissons frais.
Les volumes achetés de **conserves** de la mer ont été, pour la première fois depuis 2005, en hausse en 2009 (+2%), et ce malgré un prix en hausse de 3%. Ce sont celles de sardine et de maquereau qui bénéficient d'un regain d'intérêt tandis

que les salades au thon reculent. En raison de la crise économique, il apparaît que certains ménages ont privilégié en 2009 des produits meilleurs marché comme les conserves vis à- vis de leurs équivalents frais ou surgelés.

La consommation des produits aquatiques est donc aujourd'hui tirée essentiellement par les produits frais et en particulier par celle de produits aquatiques préemballés (conditionnement en barquettes sous A.M.) et des produits traiteur réfrigérés *(France Agrimer*).

Dans ces deux secteurs, les autres tendances évolutives actuelles concernent principalement (*France Agrimer, Pôle AQUIMER et HALIOMER) :*
- Le développement de produits destinés à être consommés crus (tels que les sushis)
- Le développement des produits destinés au snacking (apéritif, portions individuelles, petits conditionnements…)
- Le développement de produits plus pratiques, faciles et rapides à préparer par le consommateur (coquillages élaborés, poissons prêts-à-cuire…) et des aides culinaires.
- L'emploi de matières premières durables (respect de la ressource, diminution des impacts environnementaux).
- Le développement et l'élaboration de produits à base d'espèces aquacoles
- Le développement de produits plus festifs intégrant la notion de « plaisir »
- Le développement de produits de cuisine d'assemblage
- Des produits plus naturels et des tendances BVE (Bio / Vert / Equitable)

Principaux risques sanitaires liés aux produits aquatiques

Risque sanitaire lié à l'histamine

La formation d'histamine dans la chair de certaines espèces de poissons, telles que le thon, constitue un problème majeur. L'histamine est la première cause de toxi-infections alimentaires (« intoxication histaminique ») liées à la consommation de produits de la pêche en France, et celles-ci sont en augmentation depuis 2007 *(source INVS).*
Les intoxications histaminiques concernent uniquement certaines espèces de poissons telles que le thon (84% des cas recensés), l'espadon, le maquereau, la bonite, la sardine, le hareng ou l'anchois, dont la chair est plus riche en histidine.
L'histamine est produite, après la mort du poisson, par décarboxylation de l'histidine libre sous l'action d'une enzyme d'origine bactérienne (*l'histidine décarboxylase*) présente chez les Entérobactéries (notamment *Morganella morganii),* et des espèces telles que *Klebsiella et Hafnia*. La plupart de ces bactéries productrices d'histamine sont mésophiles.
Très rarement létale (quelques cas de mortalité ont cependant été rapportés sur des personnes sensibles ou âgées), cette intoxication est cependant grave et provoque, très rapidement après l'ingestion, des symptômes d'allergie du type : nausées, étourdissements, urticaire, bouffées de chaleur, vomissements.
D'autres amines présentes dans le poisson (cadavérine, putrescine, spermidine, spermine) auraient un effet potentialisateur. Même si la cause exacte de l'intoxication n'est pas encore bien connue, elle est toujours associée à des taux d'histamine élevés dans la chair des poissons. La teneur en histamine est réglementée dans les produits de la pêche (100 ppm), conduisant lorsqu'elle est dépassée, à un rejet systématique des lots de poisson concernés, quel que soit le traitement ultérieur du poisson.
L'histamine est thermostable. Elle n'est donc pas détruite par la stérilisation (cas des conserves de thon), ni à plus forte raison par la simple cuisson (maquereau fumé à chaud, ou steaks de thon grillés, par exemple). Les seuls moyens de prévention de la formation et du développement de l'histamine au cours de la conservation et de la transformation du poisson restent l'application des bonnes conditions d'hygiène et l'application du froid : réfrigération précoce et continue (et distribution rapide) dans le cas du thon frais, ou congélation rapide et entreposage sans rupture dans le cas des poissons congelés. Cependant, le froid présente aussi aujourd'hui certaines limites dans la mesure où des bactéries productrices d'histamine psychrotolérantes ont été récemment découvertes, notamment *Photobacterium phosphoreum* et *Morganella psychrotolerans*.

Risques sanitaires liés aux parasites

La question des parasites représente aussi une thématique importante en sécurité alimentaire des produits aquatiques, même si elle ne présente pas un risque sanitaire aussi important que l'histamine.
Les Anisakidae (les 2 principaux genres étant *Anisakis* et *Pseudoterranova*) sont des nématodes parasites dont les larves sont présentes chez de nombreuses espèces de poissons de pêche et céphalopodes. Ces parasites peuvent entraîner des pathologies digestives (nommées anisakidoses) et/ou allergiques chez l'homme suite à la consommation de poissons crus, peu cuits ou peu transformés.
Les moyens de maîtrise aujourd'hui connus des Anisakidae sont la congélation à cœur des produits à -20°C pendant au moins 24h, la cuisson à cœur des produits pendant au moins 1 min à 60°C (70°C si cuisson micro ondes), ou le salage traditionnel de longue durée (21 jours de mise au sel des produits avec une saumure résultant de la préparation présentant, à tout moment, une concentration en sel supérieure à 264 g/l). Par ailleurs, l'éviscération des poissons et le maintien de la chaîne du froid diminuent le risque de migration larvaire ; un parage adapté des filets ainsi que l'observation sur table de mirage et l'élimination manuelle des larves permettent de réduire le risque.

La commercialisation de produits devant être consommés crus ou pratiquement crus, de même que les espèces de poissons sauvages devant subir un traitement de fumage à froid ainsi que les produits marinés et / ou légèrement salés, sont soumis à une obligation de congélation assainissante (réglementation européenne 853/2004).
A ce jour, en France, les cas de parasitoses liés aux Anisakidae, sont peu fréquents ; cependant, la modification des habitudes alimentaires pourrait être à l'origine d'une augmentation du risque parasitaire. L'évolution actuelle du mode de consommation des produits de la mer vers des préparations de produits crus (sushis, carpaccios…) ou peu cuits, fumés à froid, légèrement marinés ou salés augmente l'exposition des consommateurs à ce risque de parasitose. Par ailleurs, l'INVS et la DGAL expriment des inquiétudes face à la modification des habitudes alimentaires, au non-respect de la réglementation européenne 853/2004 et au manque de perception du risque ou des mesures de prévention par le consommateur.
Certains parasites peuvent aussi être retrouvés dans les coquillages en conditions naturelles *(Cryptosporidium parvum* et *spp, Giardia intestinalis*), mais aucune épidémie humaine liée à la présence de ces parasites dans les coquillages n'a été rapportée. On pourra également noter plusieurs cas de poissons d'eau douce des lacs d'Europe contaminés par *Diphyllobothrium* (ténia du poisson), ayant également provoqué plusieurs cas d'infestation parasitaire depuis 1980 en Europe.

Principaux risques microbiologiques et virologiques

Les poissons d'eau de mer et d'eau douce peuvent véhiculer les principales bactéries alimentaires pathogènes pour l'homme, telles que *Listeria monocytogenes, Salmonella*.
Une surveillance réalisée en Suède de 1995 à 2004 a rapporté 315 cas de listériose due à *Listeria monocytogenes*, dont 25% étaient attribués à la consommation de poissons fumés ou salés. En France, aucun cas de toxi-infection alimentaire n'a mis en cause des produits de la mer, ce qui n'exclut pas leur possible implication dans des cas sporadiques isolés. En 2005, l'acide acétique en tant qu'auxiliaire technologique a fait l'objet d'une autorisation d'emploi, pour le lavage externe (avant filetage) des saumons et truites destinés au fumage, afin de faire chuter l'occurrence de *Listeria monocytogenes* par une action chimique facilitant la floculation et l'élimination du mucus.
Les risques liés à la présence de flores sporulées (*Bacillus, Clostridium*) dans les produits de la mer pasteurisés sous-vide (produits dérivés du surimi par exemple) ont aussi fait l'objet de nombreuses études.
De par leur capacité à filtrer et à concentrer les pathogènes présents dans l'eau, les fruits de mer sont aussi régulièrement impliqués dans des épidémies à virus entériques et d'autres pathogènes présents dans d'autres catégories d'aliments tels que *Salmonella, Campylobacter*, *E. coli. ou Vibrio*. Une épidémie d'infections à *Vibrio parahaemolyticus* liée à la consommation de moules a déjà été recensée. Les crevettes sont aussi régulièrement contaminées par V. Parahaemolyticus mais seules 1% des souches sont pathogènes. En ce qui concerne *Vibrio cholerae*, tous les produits de la pêche peuvent être concernés dès lors qu'ils proviennent des régions du monde ou le choléra est endémique ou épidémique. Plusieurs épidémies d'infections à norovirus et au virus de l'hépatite A ont aussi été rapportées, avec pour origine des huîtres crues.

Risque allergène

Les poissons et produits à base de poissons, ainsi que les mollusques et produits à base de mollusques font partie des allergènes à déclaration obligatoire *(Directive européenne 2007/68/CE et Décret 2008-1153 du 7/11 2008).*
En France, l'allergie au poisson touche 5% des enfants et 3% des adultes parmi les individus souffrant d'allergie alimentaire. De nombreuses espèces de poissons sont mises en cause dans les allergies : morue, thon, saumon, sardine, anchois… Les allergènes de poissons sont des protéines musculaires dont la plus étudiée est le Gad c I de la morue, protéine très stable dont l'allergénicité semble davantage liée à sa séquence d'acides aminés qu'à sa configuration. La cuisson et le fumage réduiraient l'allergénicité de ces protéines et la stabilité de ces protéines de poissons serait évolutive.
L'allergie aux crustacés touche 2% des enfants et 3% des adultes souffrant d'allergie alimentaire en France. Les réactions aux crustacés sont plus fréquentes que celles causées par les mollusques. De nombreuses espèces de crustacés, mollusques et céphalopodes peuvent être à l'origine de réactions allergiques diverses. Le principal allergène mis en cause est une protéine musculaire thermo-résistante, la tropomyosine. On la retrouve dans tous les crustacés. De plus, une protéine présentant de nombreuses similarités structurales avec la tropomyosine a également été mise en évidence chez les mollusques, provoquant ainsi des réactions croisées avec les crustacés.
Les symptômes allergiques les plus fréquemment rapportés sont de type : rhinite, troubles intestinaux, démangeaisons et urticaire, asthme et difficultés respiratoires et plus rarement choc anaphylactique. Ces aliments peuvent également provoquer des réactions allergiques par inhalation, lors des périodes de culture des fruits de mer, par ingestion ou bien par la vapeur de cuisson.
Des pathologies allergiques liées aux parasites (Anisakiases gastro-allergiques et allergies à *Anisakis simplex* présents dans les produits aquatiques, vivants ou morts) ont aussi été décrites. Neuf allergènes ont été identifiés, résistant à la congélation, et pour certains à la cuisson et à la pepsine.

Autres risques chimiques et toxinogènes

Le milieu marin peut être contaminé par diverses substances chimiques plus ou moins toxiques pour l'homme, qui font régulièrement l'objet de contrôles.

Les dioxines, furanes et PCB (polychlorobiphényles) en font partie.
Le terme « dioxines » désigne 2 familles de composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques halogénés : les polychloro-dibenzo-para-dioxines (PCDD) et les polychloro-dibenzo-furanes (PCDF). Il existe plus de 200 dioxines différentes. Les dioxines se forment lors de la combustion de produits organiques : incinération de déchets, métallurgie, fabrication de certains pesticides, blanchiment de la pâte à papier…
Les PCB sont des hydrocarbures aromatiques chlorés dont la production et l'utilisation sont interdites en France depuis 1987. Ils étaient largement utilisés dans l'industrie (transformateurs, condensateurs, fluides caloporteurs ou isolants, lubrifiants). Les PCB font partie des perturbateurs endocriniens. Ils ont des effets neurotoxiques et neurocomportementaux et des effets promoteurs de la cancérogenèse. On dénombre 209 molécules de PCB que l'on peut regrouper en plusieurs catégories: les PCB coplanaires encore appelés PCB type dioxine (co-PCB), et les PCB indicateurs, au nombre de 7. Ces PCB, fortement chlorés, sont représentatifs d'une part, de la contamination alimentaire par l'ensemble des PCB et d'autre part de l'impact toxicologique sur l'homme.
En raison de leur grande stabilité physique et chimique, de leur faible biodégradabilité et leur forte lipophilie, les dioxines comme les PCB peuvent s'accumuler dans les tissus graisseux des animaux. On peut les retrouver particulièrement dans les aliments riches en graisses tels que poissons, crustacés, lait et produits laitiers, oeufs.
Des taux élevés de PCB sont constatés depuis quelques années dans des espèces de poissons d'étangs ou de rivières y compris des estuaires. Il en est de même pour certaines espèces de poissons issus de zones maritimes littorales. Plusieurs zones de pêche et espèces de poissons font l'objet d'interdictions de pêche, en raison de leurs teneurs en PCB et dioxines trop importantes.

Les métaux lourds (mercure, plomb, cadmium) représentent aussi des risques chimiques. Même à faible dose, ils sont toxiques à long terme pour l'homme. Le plomb peut freiner le développement cognitif, diminuer les performances intellectuelles des enfants et augmenter la tension artérielle et le nombre de maladies cardio-vasculaires chez l'adulte. Le cadmium peut induire un dysfonctionnement rénal, des problèmes osseux et des troubles de la reproduction. On ne peut exclure une action cancérigène. Le méthylmercure peut altérer le développement cérébral des nourrissons et provoquer des transformations neurologiques chez l'adulte. Des plans de surveillance ont été mis en place.

Comme dans d'autres filières alimentaires, les hydrocarbures polycycliques aromatiques peuvent contaminer les denrées lors des processus de chauffage, séchage, fumage par contact direct avec les produits de combustion. Le benzo(a)pyrène est utilisé comme marqueur de la présence et de l'effet des HAP cancérogènes dans les denrées alimentaires.

Les phycotoxines sont des toxines produites par quelques espèces phytoplanctoniques (essentiellement les algues du groupe des dinoflagellés). Certaines de ces toxines sont potentiellement dangereuses pour le consommateur car elles s'accumulent dans les coquillages, notamment les moules (toxines diarrhéiques DSP, paralysantes PSP, amnésiantes ASP…).

Enjeux économiques et technologiques

Face à la raréfaction de la ressource, aux évolutions de la filière et aux attentes des consommateurs, les enjeux économiques et technologiques de la filière tournent autour de 3 grands axes (*POLE AQUIMER) :*

<u>1. Maximiser les ressources disponibles et créer de nouvelles ressources dans une perspective de développement durable</u>
- Valoriser et utiliser 100% des ressources disponibles (produits, coproduits, retraits, prises accessoires…)
- Diversifier l'exploitation des ressources sauvages
- Développer et renforcer une industrie aquacole française

<u>2. Positionner les produits aquatiques dans l'alimentation du futur</u>
- Diversifier l'offre alimentaire aquatique proposée
- Lever certains freins à la consommation des produits aquatiques
- Garantir la naturalité et l'équilibre nutritionnel des produit aquatiques élaborés pour ouvrir de nouveaux marchés

Les modes de préparation et de conservation du poisson font partie des principaux questionnements des consommateurs. Le développement de produits élaborés correspondant aux nouvelles tendances de consommation représente un enjeu majeur : développement de formulations adaptées aux attentes du consommateur, de produits élaborés faciles et rapides à préparer, d'aides culinaires, de produits pour le snacking ou la cuisine d'assemblage.

Par ailleurs, la question la plus fréquemment posée aux professionnels de la vente des produits de la mer frais concerne la présence d'arêtes. La commercialisation croissante de filets de poissons sans arêtes et, pour les professionnels, le développement de méthodes de désarêtage automatiques constituent des enjeux importants.

Sur un plan nutritionnel, la réduction de la teneur en sel ou en matière grasse dans les produits élaborés représente des enjeux importants, tout comme l'optimisation des procédés de conservation et de transformation pour une meilleure préservation des nutriments du poisson (acides gras, vitamines et minéraux). Le développement de produits plus naturels, la réduction des additifs de conservation et la recherche de produits de substitution correspondent aussi à des attentes fortes.

La fraîcheur et la qualité des produits aquatiques restent au centre des préoccupations des professionnels et des consommateurs. Pour les producteurs français, l'amélioration de la qualité du poisson de pêche fraîche, et notamment sa fraîcheur représente un enjeu important. Il est essentiel que les produits issus de la pêche fraîche, puissent se différencier des produits d'importation, et notamment des produits vendus à l'état décongelé par un niveau de qualité supérieur. Le développement de nouvelles technologies de réfrigération du poisson et de méthodes objectives de caractérisation de la fraîcheur des filets de poissons (premiers stades après la pêche) par des méthodes physiques ou biochimiques sont actuellement à l'étude. Pour faire face à l'augmentation croissante de produits de la pêche d'importation vendus décongelés, la mise en place d'outils de différenciation du frais et du décongelé par des moyens analytiques fiables et incontestables est incontournable. Enfin, dans le domaine de l'authenticité, la mise en évidence des fraudes dans les produits aquatiques d'importation (eau ajoutée, additifs de rétention d'eau, protéines exogènes…) pour permettre aux entreprises françaises d'être mieux armées par rapport à certains produits d'importation très concurrentiels, est une attente forte. Ces différentes problématiques de qualité sont abordées dans le cadre de l'UMT « Fraîcheur et qualité des Produits Aquatiques » de Boulogne-sur-Mer.

<u>3. Modifier les fondamentaux de l'industrie aquatique pour faire émerger de nouvelles approches métiers et technologiques</u>
- Faire émerger de nouvelles technologies accessibles à l'ensemble de l'industrie
- Rendre le cycle de production et de transformation compatible avec les exigences de développement durable

La mécanisation, l'automatisation ou la robotisation de certaines opérations pour améliorer la performance des entreprises (notamment les entreprises de mareyage), pour améliorer la qualité globale des produits et pour répondre aux attentes des consommateurs, est une nécessité. Les possibilités d'emploi de technologies alternatives (hautes pressions, lumière pulsée, ultrasons…) font aussi l'objet de nombreuses études. L'adaptation de technologies utilisées dans la filière des produits carnés, aux produits aquatiques est de plus en plus envisagée et employée (fumée liquide, injection, technologies de séchage et de fermentation des produits…)

Les durées de conservation des produits aquatiques frais / réfrigérés sont très courtes. Le développement de procédés / matériaux permettant d'augmenter la durée de vie des produits aquatiques est une attente forte de la profession. De nombreuses pistes de développement sont explorées : nouveaux types de conditionnements / emploi de gaz alternatifs / emploi de technologies de conservation alternatives telles que la biopréservation, développement de nouvelles technologies de conservation du poisson à température légèrement négative.

La prévention des risques sanitaires constitue un enjeu toujours plus important, avec l'augmentation croissante de la consommation de produits crus / frais / réfrigérés. L'amélioration des méthodes de détection / identification / élimination des parasites du poisson ou autres agents pathogènes dans les ateliers de production, ou la recherche de méthodes alternatives de destruction constituent des enjeux importants ; de même que l'étude et le développement de méthodes complémentaires permettant d'inhiber la formation d'histamine dans le poisson, de caractériser les risques allergènes ou de lutter contre les contaminants chimiques environnementaux.

Enfin, le renforcement de l'éco-efficacité des procédés (à bord ou à terre), l'amélioration du traitement de l'eau ou la limitation de l'utilisation du polystyrène constituent autant de défis importants pour la filière.

Quelques enjeux et attentes sur le plan sensoriel

La fraîcheur des produits aquatiques est prépondérante dans l'esprit des consommateurs français. L'aspect du produit et la fraîcheur qui en émane, est le premier critère favorisant l'acte d'achat par le consommateur, devant même la nature de l'espèce ou le prix. Les deux principaux critères intrinsèques d'achat par le consommateur sont l'odeur et la couleur. Les attentes de la grande majorité des consommateurs de produits aquatiques portent généralement sur des produits inodores, sans saveur prononcée, et de couleur blanche. Les produits de la mer frais sont souvent associés à des odeurs désagréables et à une préparation délicate. La texture est aussi un critère d'appréciation sensoriel important. La texture de la chair des poissons est généralement considérée comme molle (sauf dans le cas du thon). Cette texture ne se « bonifie » pas dans le temps comme celle de la viande.

Les évolutions de la filière citées ci-dessus (augmentation des importations de produits surgelés, augmentation de la commercialisation de produits décongelés réfrigérés, augmentation des ventes de produits destinés à être consommés crus, prolongation de la durée de vie des produits préemballés…) ont des répercussions sur la qualité sensorielle des produits, auxquelles les professionnels doivent inévitablement faire face. Quelques exemples souvent évoqués sont donnés ci-dessous.

Concernant les matières premières d'importation, les nouvelles pratiques dites de « double congélation » qui concernent essentiellement les filets de poissons blancs en provenance d'Asie, ont un impact direct sur la texture des produits, posant des problèmes technologiques aux utilisateurs de ces matières premières : le développement d'outils analytiques pour détecter cette double congélation est actuellement à l'étude (UMT « Fraîcheur et qualité des produits aquatiques »). De la même façon, les conditions d'élevage et d'abattage des poissons d'aquaculture (saumon) ont un effet sur la qualité organoleptique (texture) et le rendement des filets produits dans les ateliers de mareyage. L'injection d'eau dans certaines matières premières aquatiques d'importation et l'emploi d'additifs permettant d'assurer la rétention d'eau dans les filets a aussi un impact direct sur la texture, le rendement et la quantité d'exsudat formé au cours de la conservation et/ou de la cuisson ultérieure des produits. Enfin, la mise en œuvre récente de nouvelles technologies de conservation du poisson à température légèrement négative (superchilling) pratiquées dans certains pays, peut aussi conduire à des modifications de texture de la chair des espèces concernées. D'une manière générale, la filière française doit continuer à mettre en place des critères analytiques pour mieux caractériser ces matières premières d'importation, non seulement sur un plan sanitaire mais aussi sur un plan sensoriel.

Le développement des ventes de produits décongelés réfrigérés implique d'autres enjeux technologiques pour les professionnels. La congélation et le stockage à l'état congelé impliquent des modifications de texture et de couleur des produits, ainsi qu'une perte de brillance à la décongélation. Les filets décongelés par les méthodes classiques ou plus récentes (telles que les micro-ondes ou le tempérage) sont généralement plus ternes. Une meilleure maîtrise des procédés de décongélation est nécessaire. Il est aussi connu que la couleur de certaines espèces de poissons (thon par exemple) conservées aux températures habituelles de stockage à l'état congelé (-20°C), brunit progressivement, ce qui en amoindrit la qualité. Des méthodes de surgélation et de conservation à très basse température (–60°C) dans des conditionnements adaptés, se développent aujourd'hui en France, permettant de mieux préserver la qualité organoleptique de la chair, et de commercialiser des produits dont la qualité organoleptique est proche de celle des poissons frais (exemple : thon qualité « sashimi »). On pourra par ailleurs noter que l'importation et la mise sur le marché de produits de la pêche traités au monoxyde de carbone (parfois utilisé par certains producteurs étrangers comme gaz d'emballage afin d'augmenter les délais de conservation des produits (thon essentiellement) et maintenir la couleur rosée / rouge sont interdits (Note de service DGAL/SDSSA/MCSI/N2004-8187 du 26/07/2004).

Les obligations de congélation sanitaire préalable des matières premières destinées à être consommées crues (vis-à-vis du risque parasitaire) peuvent impliquer des modifications sensorielles des produits : on pourra évoquer par exemple la diminution de la brillance dans la fabrication du haddock, ou bien encore les modifications de texture liées à l'emploi d'une matière première surgelée dans la fabrication de produits crus / marinés.

La durée de conservation des produits aquatiques est relativement courte, en comparaison de celle de la viande. La prolongation de la durée de vie des produits aquatiques représente une attente forte des professionnels, notamment celle des produits préemballés en barquettes. La maîtrise de l'odeur est importante dans le cadre de ces développements, d'autant plus que les odeurs se concentrent dans les barquettes. L'identification des molécules à l'origine de la formation des odeurs et le développement de méthodes pour capturer ou neutraliser ces odeurs représentent aussi des verrous technologiques à lever. Le maintien de la couleur des produits préemballés représente aussi une attente forte de la profession, au travers de l'emploi de gaz alternatifs ou de conditionnements adaptés, notamment pour le thon. L'inhibition de la formation d'exsudats dans les barquettes au cours de leur conservation constitue un autre besoin.

Le maintien d'une texture moelleuse au cours de la cuisson (pasteurisation, stérilisation…) est aussi souvent évoqué par les professionnels comme une difficulté technologique. En particulier, l'amélioration de la texture de la chair de thon reste une préoccupation, dans l'objectif de l'attendrir et d'aboutir à une texture moins sèche au cours de la cuisson.

On pourra aussi également bien sûr évoquer les enjeux sensoriels liés aux nouveaux enjeux nutritionnels et de santé publique, tels que la diminution de la teneur en sel dans les produits ou à la teneur en matières grasses dans les produits élaborés à base de poisson.

Références bibliographiques

AFSSA, Avis relatif à une demande d'évaluation du risque concernant la présence d'anisakidés dans les produits de la pêche et l'extension de la dérogation à l'obligation de congélation assainissante pour les produits de la pêche dont l'alimentation est maîtrisée ainsi que pour certaines espèces de poissons sauvages, 22 avril 2008.
AFSSA, Avis relatif aux dangers microbiologiques des aliments consommés crus, saisine n° 2008-SA-0172, 23 avril 2010.

AQUIMER, Les produits aquatiques de demain (Gérer les ressources et répondre aux évolutions du marché dans une perspective de développement durable), conférence, juin 2010.
France AGRIMER, Les cahiers de France Agrimer, Les filières pêche et aquaculture en France, Production, Echanges, consommation, Edition avril 2010.
France AGRIMER, Consommation des produits de la pêche et de l'aquaculture, données statistiques 2009.
France AGRIMER / Marion FISCHER, Les tendances de consommation et les freins à la consommation de produits aquatiques, janvier 2010.
Guide de Bonnes Pratiques hygiéniques, Poissons fumés et/ou salés et/ou marinés, 2008, les éditions des journaux officiels.
HALIOMER (CEVPM) : Aide-mémoire pour l'interprétation des résultats d'analyses des produits de la pêche et d'aquaculture, fiche technique n°13, 4ème édition.
IFREMER, ABARNOU A., DUCHEMIN J., Distribution et devenir des contaminants persistants dans les écosystèmes littoraux. Comparaison Manche Ouest – Manche Est, février 2008.
Pôle Halieutique d'Agrocampus Ouest, Etude des attentes des consommateurs de produits de la Mer Frais et de leurs comportements selon les circuits de distribution, septembre 2009.
Programme National Nutrition Santé, Allergies alimentaires, connaissances, clinique et prévention, 2002.
www.veilleproduitsaquatiques.com/documents/id_309_1.pdf

PROCÉDÉS DE CONSERVATION/TRANSFORMATION ET QUALITÉ SENSORIELLE DU POISSON

CHOUBERT G.

INRA, UMR 1069 Nuage, 64310 – Saint Pée-sur-Nivelle

Introduction

Les poissons sont des produits périssables. Leur consommation s'étale sur toute l'année. Mais, pour garder la possibilité de les consommer longtemps après les avoir pêchés, il est nécessaire de les conserver ou de les transformer**.** La plupart des poissons (64 % de la production) subissent un certain nombre de transformations ou de préparations.
La conservation des poissons vise à préserver leurs qualités nutritionnelles et organoleptiques et a pour but d'allonger leur durée de commercialisation. Elle implique, notamment, d'empêcher la croissance de micro-organismes dont la présence, ou la prolifération, altère le produit ou le rend impropre à la consommation humaine.
L'industrie alimentaire transforme les poissons « matière première », de compositions variables, en un produit à valeur ajoutée de consommation alimentaire, en prenant en compte les exigences des consommateurs en matière de santé, de qualité et de sécurité. La transformation est devenue, aujourd'hui, l'intermédiaire entre les poissons et l'assiette. C'est une industrie de haute technologie, confrontée à la nécessité de maîtriser un système complexe par ses approvisionnements (caractère saisonnier des productions, dispersion géographique, variations qualitatives et quantitatives), par les procédés mis en œuvre et par, enfin, la notion même de qualité des aliments.

Définitions des caractéristiques sensorielles du poisson

Les caractéristiques sensorielles des poissons sont évaluées en utilisant les sens humains, que sont la vision, l'odorat, le goût et le toucher, comme instrument de mesure (Lawless et Heymann, 1999a).
Mais les attributs sensoriels des aliments sont perçus par le consommateur dans un ordre spécifique : l'apparence, l'odeur/flaveur et la texture qui le guident dans son acceptation des produits alimentaires (Warm et al., 2000).
- l'apparence : parmi les critères d'apparence (couleur, forme, taille, surface), seule la couleur sera retenue. La couleur est révélée par l'action de la lumière sur un objet (Lawless et Heymann, 1999b). C'est un élément important d'acceptabilité par le consommateur (Haard, 1992).
- l'odeur/flaveur : les poissons contiennent de nombreux composés volatils qui peuvent être perçus par voie nasale (voie directe). Les molécules pénètrent par le nez et vont directement interagir au niveau de l'épithélium olfactif. La flaveur désigne l'ensemble des sensations qui s'expriment au travers des sens chimiques lorsqu'un produit est mis en bouche (Caul, 1957). La flaveur inclut les sensations liées au goût, à la texture, et à l'arôme (par olfaction rétro nasale). Les différences perçues entre l'odeur et l'arôme d'un aliment proviennent des nombreuses actions qui ont lieu lors de la mise en bouche : action de la salive, de la température, des enzymes, de la mastication…
- la texture correspond à la perception sensorielle des propriétés mécaniques ou physiques de l'aliment par le toucher (main, langue, lèvres, mâchoire) (Coppes et al., 2002). Les spécificités recherchées pour la chair des poissons sont le moelleux ou fibreux (propriétés de texture), jutosité (propriété de rétention d'eau) et la tendreté (produit cru ou cuit),

Caractéristiques sensorielles du poisson cru

Couleur

La couleur de la peau et de la chair des poissons est très différente d'une espèce de poisson à l'autre et varie en fonction de la nature des pigments et des chromatophores (Choubert, 1992). Selon les pigments contenus dans les chromatophores, on distingue les mélanophores (mélanine), les érytrophores (caroténoïdes rouges) et les xanthophores (caroténoïdes jaunes).
En milieu naturel, les salmonidés consomment des invertébrés riches en caroténoïdes, et en particulier en astaxanthine, ce qui leur donne leur couleur caractéristique (rouge–orange). Les poissons ne peuvent synthétiser les caroténoïdes *de novo* ; ils doivent donc les trouver dans leur alimentation. Ingérés, les caroténoïdes, dont une partie a été soit détruite soit métabolisée, sont transportés par les lipoprotéines du sang vers les tissus cibles, la

peau et le muscle. La fixation des caroténoïdes est sous la dépendance de nombreux facteurs dont l'espèce animale considérée et la nature des caroténoïdes (Choubert, 2001). Le nombre et la taille des fibres musculaires sont aussi des paramètres importants pour la fixation des caroténoïdes car ils conditionnent le nombre de sites de liaisons des caroténoïdes (Jonhston et al., 2000).

Odeur/Flaveur

Les poissons présentent une odeur et un arôme caractéristique constitués à partir de très nombreux composés volatils (plus de 300). Cependant, tous ces composés ne vont pas être impliqués de la même manière dans l'élaboration de l'odeur et de l'arôme.
Les poissons fraîchement péchés dégagent une odeur/flaveur douce avec des notes aromatiques vertes et végétales et parfois métalliques. Pour les poissons marins, ces notes sont complétées par des notes marines et iodées (Lindsay, 1990). La flaveur des poissons est influencée par les acides aminés libres, les minéraux et les acides gras (Haard, 1992). Ces composés peuvent être en concentrations différentes selon que les poissons proviennent de la pêche ou de l'aquaculture. Toutefois, on note également le rôle important de l'environnement dans le déterminisme de la flaveur. Ainsi, par exemple, l'odeur de moisi associée à un goût de vase a été rapportée chez certains poissons d'eau douce (Robin et al., 2006).
Le goût des poissons est essentiellement dû à des acides aminés libres, des acides organiques et des minéraux (Konosu, 1996). Les concentrations de ces composés sont plus élevées chez les poissons issus de la pêche que chez ceux issus de l'aquaculture. Il s'ensuit une saveur plus marquée pour les poissons marins (Jahncke et al., 1988). La teneur en lipides et la nature des acides gras participent également à la saveur (Waagbo et al., 1993).

Texture

La texture de la chair des poissons est fortement liée à la structure du muscle. Le muscle de poisson est segmenté en myotomes qui ont la forme de « W » et qui s'emboîtent les uns dans les autres. Les myotomes sont délimités par des myoseptes conjonctifs dans lesquels les fibres musculaires s'insèrent. L'orientation des fibres dans les myotomes est complexe et varie à la fois selon l'axe longitudinal du poisson et selon la distance depuis la colonne vertébrale (Alami-Durante et Rescan, 2003). Les fibres blanches sont composées de myofibrilles contenant des filaments d'actine et de myosine (Jonhston, 2001). La texture résulte donc principalement du comportement mécanique de cette structure et de ces deux composants principaux : tissus musculaire et tissu conjonctif.
Le poisson en bonne condition a une chair élastique et ferme. A l'intérieur même d'un filet, on note un gradient antéropostérieur croissant de fermeté et une plus grande résistance de la partie dorsale du filet comparée à la partie ventrale (Lefèvre, 1997). En période de frai, ou en cas de jeûne saisonnier prolongé, la chair a une texture molle. La texture est sous la dépendance de nombreux facteurs comme la durée de la *rigor mortis*, le pH ou le stockage. Les poissons issus de l'élevage ont une texture plus molle que celle des poissons issus de la pêche (Haard, 1992). La *rigor mortis* débute 6 à 24 h *post-mortem* et peut durer 5 à 7 jours (Fauconneau et al., 1995).
La teneur en eau et en lipides du muscle jouent un rôle sur la texture de la chair crue (Fauconneau *et al.*, 1993). L'eau et les lipides tendent à diluer les éléments de structure et diminuent la résistance mécanique globale de la chair. Ainsi, la tendreté des muscles est supérieure chez les individus gras contenant plus de lipides (Borresen, 1992). Chez les espèces maigres, la tendreté augmente avec la teneur en eau de la chair (Dunajski, 1979).
Mais les lipides et l'eau conditionnent également les qualités spécifiques de sensation en bouche de la chair de poisson. Ses propriétés d'hydratation sont généralement décrites avec les termes "humide, moite, sec" ce qui décrit différents niveaux de perte en eau, et "gras " qui qualifie la présence de lipides (Dunajski, 1979).

Modulation des caractéristiques sensorielles

Une des différences entre les poissons issus de la pêche et ceux issus de l'aquaculture réside dans le fait que la pêche est un prélèvement d'espèces sauvages. L'homme est alors confronté aux propriétés technologiques propres des poissons et ne peut agir sur la qualité du produit fini qu'en contrôlant les différentes étapes de préparations des produits. En aquaculture, au contraire, l'homme peut, dans une certaine mesure, en contrôler la qualité organoleptique par le biais de l'alimentation, de la sélection génétique et de la conduite de l'élevage. L'alimentation est le facteur qui joue un rôle prépondérant sur les modifications de la qualité organoleptique des poissons.

Couleur

En élevage, le souci de fournir aux salmonidés une alimentation comparable à celle des espèces sauvages et d'obtenir une couleur attractive pour le consommateur, a conduit les fabricants d'aliments et les éleveurs à

supplémenter les aliments destinés aux poissons en caroténoïdes. Les sources de caroténoïdes utilisées sont diverses et se répartissent en deux catégories distinctes : les caroténoïdes d'origine naturelle (végétaux, algues, levures et crustacés) et les caroténoïdes d'origine synthétique identiques aux composés naturels. Cependant, l'utilisation de ces composés en alimentation animale est réglementée. Ainsi pour les salmonidés, la teneur en canthaxanthine autorisée, en Europe, est de 25 mg de canthaxanthine/kg d'aliment et celle de l'astaxanthine de 100 mg d'astaxanthine/kg d'aliment.
La fixation des caroténoïdes chez les poissons dépend de facteurs intrinsèques, c'est-à-dire liés à l'animal (âge, cycle sexuel) et de facteurs extrinsèques en rapport avec leur alimentation (composition, teneur, structure, forme ou quantité distribuée) et les conditions environnementales de leurs milieux de vie (Choubert, 2001). La concentration en caroténoïdes du muscle de poisson augmente avec la quantité ingérée jusqu'à atteindre un plateau. La rétention de ces composés est très faible (proche de 1%) et leur incorporation dans l'aliment entraîne un surcoût non négligeable. Les caroténoïdes étant des composés liposolubles, leur absorption est liée à celle des lipides alimentaires (Choubert, 2001).

Odeur/Flaveur

L'aliment joue un rôle déterminant dans la teneur en lipides de la chair des poissons. Les poissons issus de l'élevage sont généralement plus gras que les poissons issus de la pêche (Haard, 1992). La différence d'engraissement est due principalement à une alimentation, en élevage, plus abondante mais aussi plus riche en lipides (Médale et al., 2003). Cet apport supplémentaire en énergie permet une épargne des protéines alimentaires et une diminution des rejets azotés (Watanabe, 1982). Une diminution de la teneur en lipides du muscle de poisson sera préjudiciable à la flaveur des produits non transformés et, sur les produits fumés, à leur sensation de moelleux, à laquelle participent les lipides, sans compter qu'ils permettent une meilleure fixation des arômes de fumée (Cardinal et al., 2001).
La substitution de l'huile de poisson, aujourd'hui raréfiée, utilisée dans les aliments pour poissons par des huiles d'origine végétale n'affecte pas la quantité de lipides déposés dans le muscle des poissons. Par contre, la composition en acides gras de la chair des poissons est fortement modifiée par la nature des sources lipidiques du régime alimentaire (Caballero et al., 2002). Il en résulte une modification de l'odeur et du goût du poisson (Thomassen et Rosjo, 1989).

Texture

Les différences de teneur en eau, protéines et lipides associées à l'état nutritionnel du poisson ont un impact significatif sur la texture de la chair des poissons (Lefèvre, 1997). En cas de jeûne saisonnier ou en période de frai, la chair des poissons a une texture molle. Ce ramollissement de la chair serait associé à un pH minimum élevé (Fauconneau et al., 1995).
La texture des poissons est fortement dépendante de la structure macro- et microscopique de la chair. La maîtrise de la texture de la chair des poissons nécessite de prendre en compte trois facteurs : *i*) les conditions de production qui, au travers de la croissance, déterminent les caractéristiques de base de la structure de la chair, *ii*) les conditions *peri-mortem* qui, au travers du stress subi par le poisson, déterminent certaines dégradations mécaniques et enzymatiques de la structure et *iii*) les conditions de stockage et de transformation qui déterminent d'autres dégradations physico-chimiques et enzymatiques de la structure (Andersen et al., 1997).

Procédés de conservation/transformation

Par conservation/transformation du poisson, on entend, tout d'abord, l'application de techniques visant à préserver la qualité du produit et à augmenter sa durée de conservation, mais également, une valorisation en vue de la production d'une grande gamme de produits. Les techniques utilisées peuvent être fondées sur le contrôle de la température (réfrigération, congélation) ou sur le contrôle de l'activité de l'eau (séchage, salage). Les techniques peuvent reposer sur le contrôle physique des charges microbiennes du poisson (cuisson traditionnelle, cuisson vapeur, chauffage aux micro-ondes, rayonnements ionisants) ou sur le contrôle chimique de l'activité et des charges microbiennes (ajout d'acides). Des techniques fondées sur l'oxydoréduction, comme le conditionnement sous vide, sont également utilisées. Souvent, plusieurs techniques sont combinées pour conserver/transformer le poisson.
Nous ne retiendrons, dans cette présentation, que trois procédés de conservation/transformation, les plus couramment utilisés, tels que la partie consommée du poisson est gardée, approximativement, sous sa forme d'origine. Il s'agit de la congélation, du fumage et de la cuisson, effectués le plus tôt possible après la capture.

Congélation

Le froid est une technique de conservation des poissons qui ralentit ou mieux bloque l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des poissons frais. Cependant, le froid ne détruit pas, ou du moins pas entièrement, les micro-organismes. Ils peuvent donc reprendre leur activité dès que la température redevient favorable. Le froid doit être continu tout au long de la filière de distribution (continuité de la chaîne du froid).
On distingue deux procédés utilisant le froid : la réfrigération et la congélation/surgélation. Seule la congélation/surgélation sera ici développée.
La congélation consiste à abaisser la température des poissons en dessous de leur point de congélation (froid négatif) en utilisant du froid mécanique ou cryogénique. On observe alors une baisse de l'activité de l'eau par diminution de l'eau disponible. Ces deux phénomènes ralentissent ou stoppent l'activité des micro-organismes et l'activité enzymatique. Selon la vitesse de refroidissement, on distingue :
- la congélation rapide, ou surgélation, au cours de laquelle les poissons subissent un abaissement rapide de la température jusqu'à -18°C à cœur, voire des températures inférieures (-65°C pour le thon rouge qualité sashimi). Cette technique entraîne la formation de nombreux petits cristaux de glace qui ne détériorent pas la paroi des cellules. Seul un faible exsudat se produira lors de la décongélation. Cette technique est utilisée dans l'industrie, à terre ou à bord des navires (appellation « poissons surgelés mer »).
- la congélation lente au cours duquel le refroidissement s'effectue lentement ce qui entraîne la formation de cristaux de glace de taille importante. Les aiguilles des cristaux de glace peuvent alors percer et déchirer la paroi des cellules et favoriser un exsudat lors de la décongélation. Cette technique est plutôt utilisée dans les foyers ménagers.
Les produits surgelés se conservent à -18°C pendant plusieurs mois sans modification notable des nutriments (plus longtemps que par la simple réfrigération). Toutefois, la présence d'une activité résiduelle des enzymes peut causer le rancissement des matières grasses à l'entreposage. Ce mode de conservation est aujourd'hui très répandu.
La décongélation, en milieu industriel, se pratique selon quatre procédés : par immersion dans de l'eau, par aspersion d'eau, par ventilation forcée d'air généralement chaud et par l'utilisation de micro-ondes. La décongélation à température ambiante est à proscrire, car favorable à la multiplication microbienne.

Fumage

Les produits fumés sont actuellement l'une des principales voies de valorisation alimentaire du poisson à travers le monde. Le procédé de fumage constitue, dans les pays industrialisés, une pratique à des fins organoleptiques en apportant une couleur, une texture et un goût spécifique aux produits traités.
Le fumage consiste, après un salage et un léger séchage, à soumettre la chair de poisson à l'action de la fumée issue de la combustion lente et incomplète de bois pour assurer une aromatisation et améliorer la durée de conservation des produits. La manière de procéder reste peu éloignée de celle de l'Antiquité, hormis l'échelle de production due à l'industrialisation et à l'extrême diversité des produits proposés.
Différentes pratiques et différents équipements de salage existent. La méthode de salage la plus simple dans sa mise en œuvre et la plus ancienne est le salage au sel sec. Une couche de sel est déposée sur la surface du filet (Knockaert, 1990). Mais le poisson peut également être salé par utilisation d'une saumure artificielle (mélange d'eau et de sel) soit par balnéation soit par injection directe.
Le fumage est intimement associé à la combustion du bois. Il existe de nombreux modes de génération de la fumée présentant des conditions de thermo-dégradation et d'oxydation différentes. La composition initiale du bois (en France, essentiellement hêtre et chêne) est donc un facteur important de variation. Les composés volatils de la fumée se répartissent entre la phase gaz et la phase particulaire de la fumée en fonction de leur point d'ébullition. La température de la fumée a donc une influence sur ces équilibres entre phases et agit, de même que la vitesse de circulation de l'air, sur les mécanismes d'adsorption et de dépôt.
Le fumage à froid et le fumage à chaud se distinguent par des températures différentes et des résultats différents. Dans le premier cas, la température est de l'ordre de 22°C et le poisson reste cru. Dans le second cas, la température avoisine 80°C et le poisson est cuit. Les durées de fumage sont très variables. Ainsi, pour du saumon fumé à froid, elles atteignent au moins 6 à 8 heures, mais peuvent parfois atteindre 24 à 48 heures. De nombreux protocoles de fumage appliqués à diverses espèces de poissons ont été décrits (Knockaert, 1990).
Les principales espèces fumées à froid sont : le saumon, la truite, le hareng, l'églefin (haddock), le thon, l'esturgeon, le flétan et l'espadon, alors que les espèces fumées à chaud sont : le maquereau, le sprat et l'anguille. Le saumon et la truite peuvent aussi être fumés à chaud.

Cuisson

L'utilisation de la chaleur a pour but, d'une part, de détruire ou d'inhiber totalement les enzymes et les micro-organismes thermosensibles dans le but de conserver les poissons et, d'autre part, de préparer les poissons à leur

consommation, ces produits étant le plus souvent mangés cuits. Pour la conservation, le traitement thermique (pasteurisation ou appertisation) peut être effectué soit sur le produit en vrac suivi alors d'un conditionnement aseptique pour éviter une recontamination microbienne ultérieure soit sur le produit conditionné. Les produits cuits sont des produits ayant subi un traitement thermique ≥ 70°C à cœur pendant au moins 2 minutes. Ce sont, par exemple, les filets de poissons ou plats cuisinés à base de poissons vendus à l'état réfrigéré ou surgelé.
La cuisson est l'opération par laquelle un poisson cru (brut ou préparé de façon appropriée) est transformé sous l'effet de la chaleur à laquelle il est soumis pour être consommé. La cuisson reste une opération mal définie dont l'effet sur les protéines dépend de la température et du temps pendant lequel cette température est appliquée.
On distingue différents types de cuisson : la cuisson à sec qui concerne l'action de rôtir, sauter ou griller, le produit perdant de l'eau en grande quantité, la cuisson humide (dans l'eau, à la vapeur, en papillote, en sauce et sous vide) et la friture. La cuisson provoque une hétérogénéité surface/centre. Sous cet angle, la cuisson est considérée comme un procédé sophistiqué de texturation. La cuisson doit être de courte durée sinon le poisson devient sec et insipide. Toutefois, il est difficile de fixer le temps avec précision car plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dont la forme du poisson, sa grosseur et sa teneur en lipides.
La cuisson-séchage est utilisée dans la préparation des conserves. Elle a pour but d'éliminer une partie de l'eau du poisson qui est susceptible d'exsuder lors de la stérilisation et de donner un goût spécifique. La cuisson-séchage permet une mise en boite rapide.
La pasteurisation porte les produits traités à des températures entre +70°C et +100°C. Ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement car tous les micro-organismes ne sont pas éliminés. Il est donc nécessaire de ralentir le développement des germes encore présents, par réfrigération ou par d'autres moyens utilisés parallèlement.
L'appertisation est un procédé de conservation qui consiste à stériliser par la chaleur les produits dans des contenants hermétiques (boîtes métalliques, bocaux). Cette technique soumet les produits à plus haute température (+115°C à +127°C) que la pasteurisation. Les conserves de poissons appertisées sont des préparations alimentaires destinées à la consommation humaine dont l'ingrédient principal est un poisson, ou un ingrédient qui en est issu, ou un mélange de ces divers ingrédients. Ce sont des produits de grande consommation, pratiques d'emploi, faciles à conserver (pas de contraintes de température). Les principales espèces appertisées sont : le thon, la sardine et le maquereau.

Effet du procédé sur les caractéristiques sensorielles

D'une façon générale, l'application des procédés de conservation/transformation entraîne une évolution des caractéristiques sensorielles. Si pour la couleur il s'agit le plus souvent de dégradation, pour l'odeur/flaveur il peut y avoir apparition de composés nouveaux à partir de précurseurs spécifiques ou non à une espèce (Josephson et al., 1991).

Congélation

Effet sur la couleur

A basse température l'activité bactérienne est fortement ralentie laissant place à la dégradation autolytique des lipides et des produits liposolubles comme les caroténoïdes. De plus, lors de la congélation, les protéines du muscle de poisson subissent des modifications physiques et chimiques entraînant une perte des qualités sensorielles. Ces réactions entraînent une modification de la couleur. Toutefois, l'importance de cette modification varie en fonction de l'espèce animale, la nature des pigments et surtout la présentation (poisson entier, filets, darnes) emballés ou non (Christophersen et al., 1992).

Effet sur l'odeur/flaveur

La conservation du poisson au froid négatif entraîne une diminution de la flaveur (perte de l'odeur et de la saveur caractéristiques). Ces modifications sont liées à la formation de composés volatils azotés (principalement la tri- et diméthylamine), de composés soufrés (via la flore bactérienne) et l'hydrolyse de nucléotides et de protéines (formation d'hypoxanthine) (Lindsay, 1990). L'oxydation des acides gras polyinsaturés à longue chaîne a lieu également lors d'un stockage prolongé au froid négatif donnant naissance à des composés odorants (odeur de rance) (Prost et al., 2004).

Effet sur la texture

La congélation entraîne une modification de la texture du muscle de poisson (changements des protéines et modifications de leur solubilité) (Dunajski, 1979). La formation de cristaux de glace dans le tissu musculaire et

les changements de volumes entraînent des dommages dans les structures cellulaires, l'environnement devient plus hydrophobe par l'augmentation de la teneur en acides gras libres. Le taux de filaments d'actomyosine diminue et les fibres musculaires se rétractent, entraînant une perte d'extractabilité des protéines et la formation d'agrégats (Lampila, 1990).
Selon les espèces, la congélation peut entraîner soit un durcissement de la chair qui résulterait des interactions entre les protéines myofibrillaires (Love, 1983) soit un ramollissement de la chair dû à la rupture des structures par la formation de cristaux de glace. Chez certaines espèces (truite arc-en-ciel, carpe), la congélation conduit à une détérioration de la texture (Laroche et al., 1996).

Fumage après salage

Effet sur la couleur

Le fumage entraîne une modification de la couleur du produit. Les composés de la fumée déposés lors du fumage apportent une coloration spécifique de surface (principalement les carbonylés), qui dans le cas du saumon peuvent aller jusqu'à masquer la couleur due aux caroténoïdes. De plus, certains composés réagissent avec les protéines de surface pour donner un brunissement plus ou moins intense. Généralement, si la teinte globale diminue, la saturation n'est pas modifiée, mais la composante rouge (a*) augmente sensiblement (Choubert et al., 1992).

Effet sur l'odeur/flaveur

Le fumage entraîne une modification notable de la flaveur (via, essentiellement, les composés phénoliques, les carbonylés et les furannes). Les composés phénoliques proviennent surtout de la dégradation thermique de la lignine du bois alors que les composés furaniques proviennent de celle de la cellulose et de l'hémicellulose du bois. Les lipides peuvent être oxydés dès la phase de séchage. L'oxydation semble être ralentie pendant la phase de fumage.
Une phase de migration (maturation), à température légèrement positive, après le fumage et avant le tranchage, peut être pratiquée pour permettre la diffusion et l'homogénéisation progressive des composés entre la surface et le cœur du produit, le tranchage freinant la migration des composés. Toutefois, cette pratique, très variable (0 à 48 heures), est mal connue. La maturation agit également sur la texture du produit final.
La durée de conservation du saumon fumé, tranché, emballé et stocké à + 4°C varie généralement de 3 à 6 semaines pour les produits fumés à froid. Sous certaines conditions, il peut en résulter une perte des qualités gustatives et l'apparition de mauvaises odeurs ou saveurs et d'une texture pâteuse, dès la fin de la deuxième semaine de stockage. Cette altération est principalement liée à l'activité des micro-organismes (Sérot, 1998).

Effet sur la texture

Dès l'opération de salage, le produit perd de l'eau ce qui limite les réactions chimiques, enzymatiques et bactériennes pour lesquelles l'eau disponible joue un rôle prépondérant. La perte de poids des filets lors des opérations de fumage est importante et peut dépasser 20 % dans le cas du fumage à chaud, ce qui entraine une modification de la texture. La phase de migration (maturation) agit également sur la texture du produit final.
La présence de sel influence la capacité de rétention d'eau du muscle et son rétrécissement au cours du chauffage. L'effet du sel ajouté sur la texture des muscles est plus marqué pour le poisson cuit que pour la viande car la texture de la chair des poissons est plus dépendante des protéines myofibrillaires qui influence fortement leur conformation et leur hydratation (Dunajski, 1979)

Cuisson

Effet sur la couleur

Au cours de la cuisson le poisson cru est transformé sous l'effet de la chaleur à laquelle il est soumis pour être consommé. La chair du poisson translucide devient opaque, d'une couleur uniforme le plus souvent d'un blanc laiteux (si elle est blanche) et se défait facilement (Choubert et Baccaunaud, 2010).
Les variations de couleur, au cours d'un traitement thermique, sont dépendantes de l'espèce, de la nature des pigments et de la température de cuisson. Ainsi, chez le saumon chum (*Oncorhynchus keta*), l'atténuation de la couleur est due à la perte des caroténoïdes entraînés par le jus de cuisson ou détruits au cours du traitement thermique (Masuda et al., 1996). Le muscle de poisson devient plus clair.

Effet sur l'odeur/flaveur

Un certains nombre de composés volatils vont être formés, au cours de la cuisson, selon trois réactions complexes : l'oxydation des lipides (l'auto-oxydation des acides gras polyinsaturés à longue chaîne étant la plus commune (Labuza, 1975)), la dégradation des acides aminés et des composés possédant deux groupements carbonylés voisins (dégradation dite de Strecker) et la réaction entre des sucres et des acides aminés (réaction dite de Maillard). La nature des composés volatils ainsi formés lors des traitements thermiques serait liée aux conditions de stockage du poisson avant la cuisson.

Effet sur la texture

La cuisson entraîne des modifications de structure et de conformation des protéines myofibrillaires et du tissu conjonctif (Dunajski, 1979). La texture de la chair de poisson cuite dépend de la taille des fibres musculaires, du gel formé par le collagène et des lipides présents dans le muscle (Fauconneau et al., 1995). Une augmentation de la fermeté de la chair est généralement observée, mais un ramollissement peut avoir lieu lors d'un chauffage prolongé à haute température (Lefèvre, 1997). Les modifications de texture associées à un traitement thermique dépendent de l'état *post-mortem* du poisson au moment du chauffage. La cuisson de poisson très frais induit une dureté prononcée de la chair liée à la *rigor mortis* (Dunajski, 1979).
Après cuisson, la chair de poissons, en période de frai ou en cas de jeûne saisonnier prolongé, a une texture peu ferme et très juteuse (Fauconneau et al., 1995). La flaveur en bouche est également détériorée.

Conclusion

Les poissons sont des produits fragiles dont les qualités sensorielles sont très spécifiques et peuvent, dans une certaine mesure, être modulées par l'élevage. Les problèmes de conservation/transformation des poissons se posent dès qu'ils sont sortis de leur élément, l'eau. Les procédés de conservation/transformation peuvent être à l'origine de modifications de leurs qualités sensorielles : modification de couleur, apparition d'odeur/flaveur nouvelles, modification de texture. La tendance actuelle de conservation/transformation est à l'utilisation de techniques mixtes associant plusieurs procédés ayant un impact réduit sur la qualité des poissons (par exemple, fumage et froid ou pasteurisation et froid). Toutefois, ces traitements, efficacement maîtrisés par le respect de strictes règles d'hygiène de fabrication, ne peuvent, en aucun cas, améliorer la qualité intrinsèque du produit initial.

Références bibliographiques

Alami-Durante H., Rescan P.Y., 2003. INRA Prod. Anim., 16, 145-155.
Andersen U.B., Thomassen M.S., Røra A.M.B., 1997. J. Sci. Food Agric., 74, 347-353.
Borresen T., 1992. *In*: "Quality Insurance in the Fish industry", eds. H.H. Huss et al., Elsevier Sci. Pub., 1-17.
Caballero M.J., Obach A., Rosenlund G., Montero D., Gisvold M., Izquierdo M.S., 2002. Aquaculture, 214, 253-271.
Cardinal M., Knockaert C., Torrissen O., Sigurgisladottir S., Mørkøre T., Thomassen M.S., Vallet J.L., 2001. Food Res. Intern., 34, 537-550.
Caul J., 1957. Adv. Food Res., 7, 1-40.
Choubert G., 1992. INRA Prod. Anim., 5, 235-246.
Choubert G., 2001. *In*: "Nutrition and Feeding of Fish and Crustaceans", eds. J. Guillaume, S. Kaushik, P. Bergot, R. Métailler, Springer Praxis, Chichester, UK, 183-196.
Choubert G., Baccaunaud M., 2010. Food Chem., 119, 265-269.
Choubert G., Blanc J.M., Courvalin C., 1992. Intern. J. Food Sci. Technol., 27, 277-284.
Christophersen A.G., Bertelsen G., Andersen H.J., Knuthsen P, Skibsted L.H., 1992. Z. Leben-U Forsch., 194, 115-119.
Coppes Z., Pavlisko A., De Vecchi S., 2002. J. Aquat. Food Prod. Technol., 11, 89-105.
Dunajski E., 1979. J. Texture Stud., 10, 301-318.
Fauconneau B., Alami-Durante H., Laroche M., Marcel J., Vallot D., 1995. Aquaculture, 129, 265-297.
Fauconneau B., Chmaitilly J., André S., Cardinal M., Cornet J., Vallet J-L., Dumont J-P., Laroche M., 1993. Sci. Alim., 13, 189-199.
Haard N.F., 1992. Food Res. Intern., 25, 289-307.
Jahncke M., Hale M.B., Gooch J.A., Hopkins J.S., 1988. J. Food Sci., 53, 286-287.
Jonhston I.A., Alderson R., Sandham C., Dingwall A., Mitchell D., Selkirk C., Nickell D., Baker R., Robertson B., Whyte D., Springate J., 2000. Aquaculture, 189, 335-349.

Jonhston I.A., 2001. In: "Farmed Fish Quality", eds. S.C. Kestin, P.D. Warris, Fishing News Books, London, UK, 13-29.
Josephson D.B., Lindsay R.C., Stuiber D.A., 1991. J. Food Sci., 56, 1576-1585.
Knockaert C., 1990. Le fumage des poisons. Ifremer, Brest, 144 pp.
Konosu S., 1996. Am. Chem. Symp. Series, 115, 185-203.
Labuza T.O., 1975. *In*: "Food Science and Technology: Water Relations of Food", ed. R.B. Duckworth, Academic Press, New York, USA, 455-472.
Lampila L.E., 1990. J. Muscle Foods, 1, 247-267.
Laroche M., Fauconneau B., Marcel J., 1996. Proceedings "Refrigeration: Science and Technology", Bordeaux, France, 393-399.
Lawless H.T., Heymann H., 1999a. *In*: "Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices", Aspen publishers, Inc., Maryland, USA, 123-158.
Lawless H.T., Heymann H., 1999b *In*: "Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices", Aspen publishers, Inc., Maryland, USA, 189-203.
Lefèvre F., 1997. Thèse Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, spécialité: Sciences des Aliments, 249 pp.
Lindsay R.C., 1990. Food Rev. Intern., 64, 437-455.
Love R.M., 1983. J. Texture Stud., 14, 323-352.
Masuda T., Takahashi K., Hatano M., 1996. J. Jap. Soc. Food Sci. Technol., 43, 552-556.
Médale F., Lefèvre F., Corraze G., 2003. Cahiers Nutr. Diét., 38, 37-44.
Prost C., Hallier A., Cardinal M., Sérot T., Courcoux P., 2004. J. Food Sci., 69, 198-204.
Robin J., Cravedi J-P., Hillenweck A., Deshayes C., Vallod D., 2006. Aquaculture, 260, 128-138.
Sérot T., 1998. Thèse Univ. Nantes, 176 pp.
Thomassen M.S., Rosjo C., 1989. Aquaculture, 79, 129-135.
Waagbo R., Sandnes K., Torrissen O., Sandvin A., Lie O., 1993. Food Chem., 46, 361-366.
Warm K., Nelsen J., Hyldig G., 2000. J. Food Qual., 23, 583-601.
Watanabe T., 1982. Comp. Biochem. Physiol., 73B, 3-15.

PROCEDES DE TRANSFORMATION ET DE CONSERVATION

Conférences invitées

Communications

FRITURE PLATE DE VIANDE BOVINE : PRISE EN HUILE EVALUEE PAR IRM ET MODIFICATION DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS ANALYSEE PAR CPG

CLERJON S.[1], KONDJOYAN A.[1], BONNY J.M.[1], PORTANGUEN S.[1], CHEVARIN C.[1], THOMAS A.[2], BAUCHART D.[2]

[1]Centre INRA de Theix, QuaPA, 63122 St Genès Champanelle,
[2]Centre INRA de Theix, URH, 63122 St Genès Champanelle

Introduction

En Europe, les morceaux de viande à forte valeur ajoutée sont souvent consommés grillés ou frits à la poêle (friture plate) dans de l'huile qui peut pénétrer dans la viande. La plupart des études qui traitent de cette prise en huile et de ses effets sur la santé portent sur l'ingestion d'acides gras saturés connus comme un facteur augmentant les risques de maladies coronariennes, de cancers, de diabète et d'hypertension (Saguy et Dana, 2003). D'autres études ont pour leur part montré que la friture modifie la composition en acides gras (AGs) des produits, dans le saumon (Larsen et al, 2010) ou le porc (Haak et al, 2007), cette dernière étude démontrant un effet plus marqué avec l'utilisation d'huile d'olive. Malgré tout, la profondeur de pénétration de l'huile dans les aliments reste très peu documentée et est très variable à cause de la complexité des phénomènes de transfert mis en jeu.
Dans le cadre du projet ANR Lipivimus, des viandes de bœuf ont été enrichies en acides gras polyinsaturés (AGPI) et supplémentées en antioxydants au travers de l'alimentation animale. L'objectif de ce travail est d'analyser jusqu'où la teneur et le profil en AGs peuvent être modifiés par la pénétration d'huile de cuisson au cours d'une friture plate à température maîtrisée dans l'huile d'olive. La pénétration de l'huile a été évaluée par micro-imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) pondérée en diffusion (DWI pour *Diffusion Weighted Imaging*). Cette technique donne la profondeur de pénétration de l'huile de friture dans l'échantillon avec une résolution de 100 µm. Parallèlement à l'IRM, la teneur et la composition fine des AGs des lipides ont été caractérisées par chromatographie en phase gazeuse (CPG) à partir de tranches fines de la viande obtenues à différentes profondeurs à partir du contact avec l'huile de friture.

Matériels et Méthodes

Les échantillons consistent en un ensemble de 9 cylindres de muscle *Longissimus thoracis* bovin (h : 30 mm, Di : 25 mm) issus de vaches de race Normande de réforme âgées de 5 ans recevant au cours de 100 jours de finition une ration à base d'aliment concentré (70%) et de paille (30%) (régime témoin) ou la même ration supplémentée en lipides (40g de lipides/kg d'aliment) apportés par des graines de lin extrudées, et en antioxydants de type vitamine E associée à un mélange d'extraits de plantes riches en polyphénols (régime LEPP). Les échantillons crus sont imagés en 3D par la technique DWI décrite ci-après. Une de leurs faces est ensuite plongée dans une huile d'olive maintenue à une température de 130 ou de 180°C (Tableau 1).

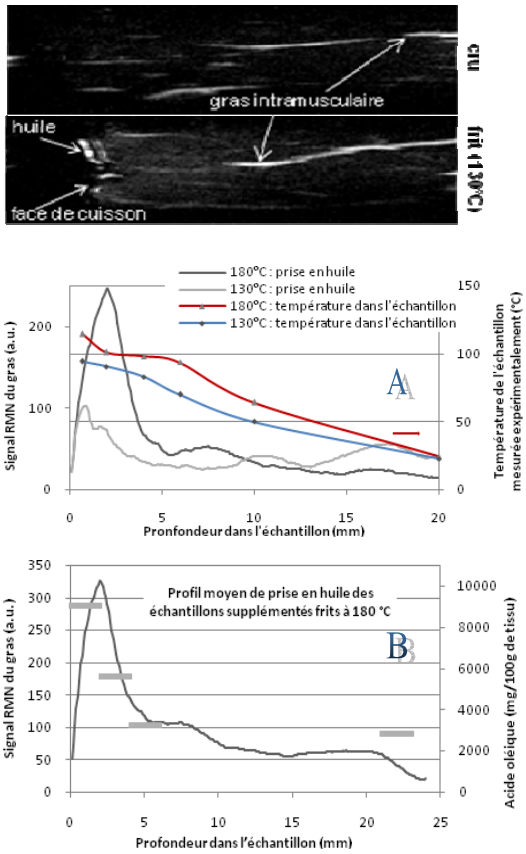
Echantillons de viande	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Température de friture	180°C	180°C	180°C	130°C	130°C	130°C	130°C	130°C	130°C
Régime alimentaire	LEPP	LEPP	LEPP	LEPP	LEPP	LEPP	T	T	T

Tableau 1 : Origine et température de friture des échantillons de muscle *Longissimus thoracis* issus de vaches de race normande après 100 j de finition. Régime = aliment concentré et paille seul (T) ou supplémenté en graines de lin et en antioxydants (LEPP)

Les échantillons cuits sont à nouveau imagés puis tranchés suivant la profondeur de l'échantillon pour la détermination de la teneur en lipides totaux par la méthode de Folch et al (1957) et de la composition centésimale de leurs AG analysés sous forme d'esters méthyliques (préparés par trans estérification par le méthylate de Na et BF3/méthanol) par CPG (modèle Péri 2100, Périchrom, France) sur colonne capillaire polaire CP Sil 88 (L : 100m; Di : 0,25mm, Varian) avec l'hydrogène comme gaz vecteur (Scislowski et al, 2004).
La technique d'IRM DWI s'appuie sur la différence de coefficient de diffusion apparent entre les myofibres et les lipides (gras intramusculaire et huile de cuisson). L'emploi d'un coefficient de diffusion suffisamment élevé atténue le signal de l'eau rendant ainsi les lipides détectables et donc clairement visibles sur les images. Les IRMs ont été faites à 400 MHz sur un micro imageur Avance DRX400 (Bruker, GmbH, Ettlingen, Germany). Les échantillons sont placés dans une sonde radiofréquence de type *birdcage* de 32 mm de diamètre, utilisée en mode émission/réception. L'acquisition d'images est basée sur une séquence Spin Echo pondérée en diffusion avec une valeur élevée de b (3500s/mm^2). La DWI étant sensible à la température, l'échantillon est thermostaté à 25°C pendant les 4h35 que dure l'acquisition. La résolution obtenue est de 500x500x100 µm^3, le maximum de résolution correspondant à la direction de pénétration de l'huile dans l'échantillon permettant l'extraction des profils résolus à 100 µm de la pénétration de l'huile par un traitement numérique de ces images 3D (64x64x240 voxels) développé sous le logiciel *Matlab*. Ce traitement comporte plusieurs étapes. Afin de s'affranchir des effets de bord, on extrait 800 profils issus d'un cylindre concentrique à l'échantillon mais de diamètre inférieur. A partir de ces profils, une correction de la planéité est réalisée. Ce traitement est effectué pour chacun des échantillons aux états cru et cuit. Enfin, pour chaque échantillon, la

quantification de la prise en huile est donnée par la différence entre les profils cuit et cru. Cette dernière étape permet de minimiser l'effet du gras intramusculaire dans les profils de prise en huile.
La hauteur d'échantillon plongée dans le bain d'huile est parfaitement maitrisée ainsi que la température de l'huile qui reste constante en cours de cuisson. La température de l'échantillon est mesurée à l'aide de 7 thermocouples tout au long du traitement à des distances de: 0,7, 2, 4, 6, 10 et 20 mm de la surface plongée dans l'huile. Après 6 minutes de cuisson, la viande est refroidie à température ambiante ; c'est majoritairement pendant cette phase de refroidissement que le film d'huile présent en surface de la viande pénètre dans la viande. Le transfert par conduction dans l'échantillon a aussi été simulé numériquement à l'aide du logiciel *Comsol Multiphysics* pour déterminer la température immédiatement sous la surface de l'échantillon (croute) là où elle ne pouvait être mesurée.

Résultats et discussion



Les images IRM correspondent à des coupes transversales d'un échantillon cru puis frit à 130°C. On observe le gras intramusculaire et l'huile de cuisson qui a pénétré sur quelques millimètres dans l'échantillon frit. A partir des blocs d'images 3D on extrait les profils moyens de pénétration de l'huile pendant la cuisson.
La figure A représente les profils moyens de prise en huile pour l'ensemble des échantillons frits à 180°C (—) et à 130°C (—). La pénétration est nettement plus importante à 180°C (~5 mm) qu'à 130°C (~2,5 mm). Pour interpréter ces résultats, les profils de température mesurés dans la viande pendant la cuisson ont été ajoutés. La prise en huile est cohérente avec les températures atteintes sous la surface. A 180°C, la température atteint plus de 100°C sur les 4 premiers millimètres sous la surface. L'eau qui est vaporisée lors de la friture se condense lors de la phase de refroidissement créant une dépression qui fait migrer le film d'huile adhérant à la surface vers l'intérieur du produit.
La figure B superpose le profil de prise en huile des échantillons supplémentés frits à 180°C et les teneurs en acide oléique mesurées par analyses CPG sur des tranches de l'échantillon plus ou moins éloignées de la face de cuisson (0-2, 2-4, 4-6 et 21-23 mm). La corrélation de la teneur en acide oléique (AG majeur de l'huile d'olive) pour tous les échantillons avec le signal RMN du gras, aux mêmes profondeurs est de R^2=0,82. De la même façon, nous avons montré une corrélation de R^2=0,70 entre les teneurs en AG totaux et le signal RMN du gras, obtenu cette fois sans correction à partir des images crues, pour prendre en compte à la fois l'huile et le gras intramusculaire.
Les analyses CPG ont porté également sur la composition des AG saturés et polyinsaturés des viandes en fonction de la profondeur. Mises en parallèle avec la prise en huile évaluée par IRM, elles montrent la prédominance de l'huile dans les premiers millimètres (de 0 à 4mm) sur la composition en AG pour les deux régimes des animaux, avec un effet d'imprégnation de l'huile de friture plus marqué à 180°C qu'à 130°C.

Conclusions

Cette étude montre que la DWI est bien adaptée à la micro-imagerie des gras intramusculaires et de la prise en huile lors de la friture. Une résolution de 100µm dans la direction de pénétration renseigne précisément sur l'augmentation de la teneur en lipides et AGs des viandes en fonction des paramètres de cuisson.
Ces résultats soulignent que lors de la friture plate de viande, la composition de l'huile de cuisson a un effet prépondérant sur la quantité et la composition des lipides dans les premiers millimètres sous la surface. En plus des efforts consentis lors de l'alimentation animale pour améliorer la composition en AG des viandes, leur amélioration sur le plan nutritionnel passe donc par une température de friture de 130°C plutôt que de 180°C et l'utilisation d'une huile de friture aux qualités nutritionnelles intéressantes. Ceci est d'autant plus vrai que le morceau est fin, comme dans le cas de steaks.

Références bibliographiques

Haak L., Sioen I., Raes K., Van Camp J., De Smet S., 2007. Food Chemistry, 102, 857-864.
Larsen D., Queck S.Y., Eyres L., 2010. Food Chemistry, 119, 785-790.
Saguy I.S., Dana D., 2003. Journal of Food Engineering, 56, 143-152.
Scislowski V., Durand D., Gruffat D., Bauchart D., 2004. Lipids, 39, 125-133.
Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H., 1957. The Journal of Biological Chemistry, 226, 497-509.

EVOLUTION DU TISSU MUSCULAIRE DE BOVIN AU COURS D'UN MARINAGE ACIDE

SHAREDEH D., GATELLIER P., ASTRUC T., PEYRIN F., DAUDIN J.D.
UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

Le marinage est un procédé traditionnel qui permet de conserver les viandes et d'améliorer leurs qualités sensorielles et technologiques. Il provoque des changements physicochimiques et biochimiques importants dus à la migration des ions de la marinade (H^+, Na^+, Cl^- …) dans le produit mais aussi à la migration des composés endogènes solubles (protéines, acides aminés, lactate, phosphates, ...) de la viande vers la solution d'immersion.
L'objectif de nos travaux est de caractériser et comprendre les évolutions structurales et biochimiques du muscle au cours du marinage. Cette étude constitue un premier pas vers la quantification de ces changements histologiques et biochimiques. Les mesures ont porté sur de petits échantillons traités de façon homogène dans des solutions aqueuses de chlorure de sodium et d'acide acétique.

Matériels et méthodes

Des disques de 26 mm de diamètre et de 3 mm d'épaisseur ont été prélevés, après décongélation pendant une nuit à 10°C, sur un muscle *semitendinosus* de bovin (Charolais, 2 ans) maturé pendant 12 jours, puis conservé à -18°C. Ils ont été immergés, sous agitation modérée et à température ambiante, pendant 16 heures dans des solutions de NaCl (0,17 M) à différents pH : 3,72, 3,62, 3,57 et 3,52. Des témoins non incubés ont été réalisés.
Après traitement et pour chaque condition, 3 disques, destinés aux mesures biochimiques, ont été congelés dans l'azote liquide et 3 disques, destinés aux analyses histologiques, ont été cryofixés dans de l'isopentane refroidi par l'azote liquide. L'ensemble des échantillons a été stocké à – 80°C jusqu'à utilisation.
Les mesures biochimiques ont porté sur (1) l'oxydation des lipides (test TBA, Lynch et Frei, 1993), (2) l'oxydation des acides aminés basiques (carbonyles, Oliver et al. 1987) et soufrés (-SH libres, Morzel et al., 2006), et (3) l'hydrophobie des protéines par le Bleu de Bromophénol (BBP, Chell et al., 2006). Chaque mesure était répétée 3 fois.
Les disques cryofixés ont été débités, orthogonalement aux fibres, en coupes histologiques de 10 µm d'épaisseur. Des images numériques de ces coupes colorées à l'Hématoxyline Eosine Safran (HES) ont été acquises à l'aide du logiciel Olympus Cell^F et d'une caméra numérique Olympus DP71 montée sur un microscope optique Olympus BX61 (objectif x20). Ces images ont ensuite été analysées avec le logiciel ImageJ afin d'estimer le pourcentage de volume occupé par l'espace extracellulaire. Pour cela, une méthode classique d'analyse d'images comprenant des opérations d'érosion, de dilatation et de seuillage a été utilisée sur les images en niveaux de gris (8 bits). Dans le but d'obtenir un bon échantillonnage et une exploitation statistique correcte, quinze images (5 par disque) ont été analysées pour chaque condition.

Résultats et discussion

Le pH final de la viande correspondant aux différentes conditions est égal à 4,82 ; 4,66 ; 4,6 et 4,4.
Les résultats montrent que le marinage n'a aucun effet significatif ($p>0,05$) sur l'oxydation des protéines : (i) le taux de –SH libres est compris entre 24 et 32 nmol/mg de protéines et (ii) le taux de carbonyles est compris entre 2,22 et 2,5 nmoles/mg de protéines. Par comparaison, cette valeur augmente jusqu'à 4 lors d'un stockage de viande d'agneaux à 4°C pendant 7 jours (Santé-Lhoutellier et al., 2008).Le test d'oxydation des lipides (test TBA) montre une augmentation importante de la teneur en substances réactives au TBA (SR-TBA) ($p<0,001$) entre les témoins et les échantillons traités. Ces différences ne sont pas significatives entre les échantillons traités (figure 1).Le marinage entraine une augmentation de l'hydrophobie des protéines ; la quantité de BBP fixé passe de 156 µg pour les échantillons témoins à 196 µg, en moyenne, après 16 h de marinage ($p<0,001$). Par contre les différences entre les échantillons traités ne sont pas significatives ($p>0,05$). Par comparaison, dans le cas de la viande de porc, Chelh et al. (2006) ont observé une augmentation allant de 60 µg pour les protéines non chauffées à 162 µg pour les protéines chauffées à 70 °C pendant 60 minutes. Plus le pH de la viande diminue et plus la proportion de volume occupé par les espaces extracellulaires augmente ; égale à moins de 4% pour les échantillons témoins, elle atteint près de 50% quand le pH est égal à 4,4 (figure 4). Pour des pH inférieurs à 4,60, la morphologie du tissu semble ne plus évoluer. A un pH de 4,4 l'*endomysium* a en grande partie été solubilisé (figure 3 B).
Dans ces essais la perte de poids des échantillons était d'environ 15 %. Ce résultat est en opposition apparente avec certaines données bibliographiques qui indiquent une augmentation du pouvoir de rétention d'eau et un gonflement des structures. Par exemple, un gain de poids de 200 à 300 % résulte d'une incubation dans une solution d'acide seul ou dans une solution de NaCl seul (Offer et Knight, 1988). Plus proche de conditions

pratiques, un gain de poids de 19% a été observé après 43 h d'incubation d'échantillons de muscle *sternomandibularis* de bovin dans une solution d'acide acétique (1,5%) en présence de sel (0,15 M) (Wenham et Locker, 1976). Dans nos conditions la perte du poids s'explique probablement par le fait que les ions Na^+ et Cl^- abaissent le point isoélectrique (pHi) des protéines qui est initialement d'environ 5,6. Après marinage acide, le pH de la viande se rapproche de ce nouveau pHi et le pouvoir de rétention d'eau est réduit. Autrement dit, la charge globale des protéines myofibrillaires est faible, voire nulle, et la distance entre myofilaments est minimale, chassant l'eau intramyofibrillaire dans les espaces extracellulaires puis dans le bain d'incubation.

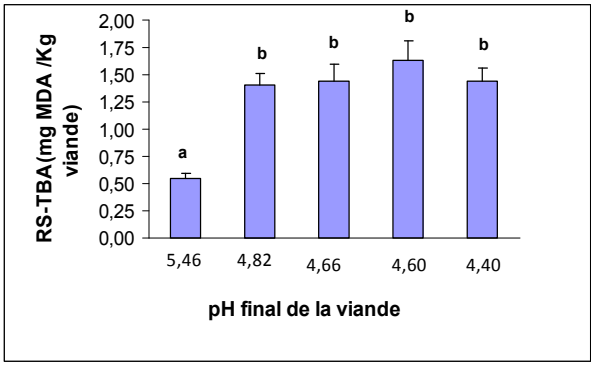


Figure 1 : Effet du marinage sur l'oxydation des lipides mesurée par le test TBA (n=3)

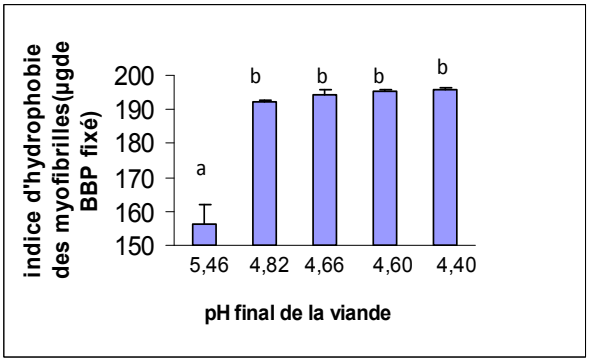


Figure 2 : Effet du marinage sur l'hydrophobie des protéines mesurée par la quantité de BBP fixé sur les myofibrilles

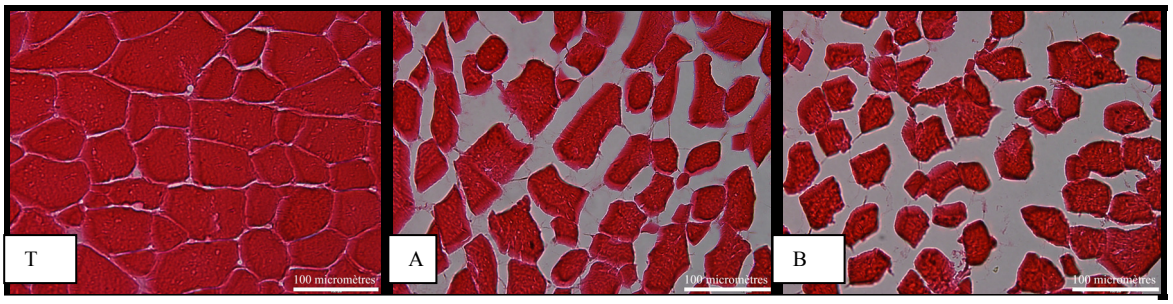


Figure 3 : Coupes histologiques, coloration HES. (T) témoin, pH=5,46, (A) pH=4,66, (B) pH=4,40.

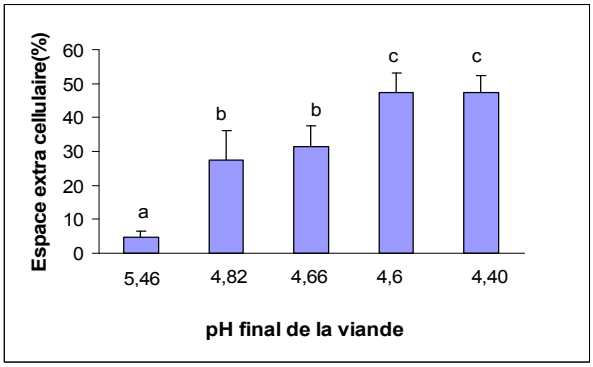


Figure 4 : Evolution de l'espace extracellulaire en fonction du pH de la viande.

Conclusion et perspectives

Ces résultats montrent que le marinage acide a un effet très important sur l'oxydation des lipides et qu'il peut y avoir des modifications de la structure des protéines, entraînant l'extériorisation des acides aminés hydrophobes, même quand il n'y a pas d'oxydation des acides aminés. Parmi les modifications structurales, une forte augmentation de la proportion du volume occupé par l'espace extracellulaire est observée. Ce travail se poursuit pour étendre la gamme des couples (teneur en NaCl, pH) étudiés.

Références bibliographiques

Chelh I., Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2006. Meat Science, 74, 681-684.
Lynch S.,M. Frei B., 1993.. Journal of Lipid Research, 34, 1745-1751.
Morzel M., Gatellier Ph., Sayd T., Renerre M., Laville E., 2006.. Meat Science, 73, 536-543.
Offer G. Knight P., 1988. Developments in Meat Science, (G. Offer et R. Lawrie, ed), (pp. 63-243). Elsevier Applied Science, London and New York.
Oliver C.N., Alin B.W., Moerman E.J., Goldstein S., Stadtman E.R., 1987.. Journal of Biological Chemistry, 262, 5488-5491.
Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier P., 2008. J. Agric. Food Chem., 56, 1488-1494.
Wenham L.M., Locker H., 1976. J. Sci. Food Agric., 27, 1079-1084.

ÉTUDE DES INTERACTIONS DU SEL ET DES HAUTES PRESSIONS SUR LA QUALITÉ TECHNOLOGIQUE DE PRODUITS À BASE DE VIANDE DE PORC.

DURANTON F.[1, 2], NGUYEN D.N.[2], SIMONIN H.[2], CHÉRET R.[1], GUILLOU S.[3], FEDERIGHI M.[3], DE LAMBALLERIE M.[2]

[1]CTCPA, Rue de la Géraudière, 44322 Nantes, France
[2]GEPEA (UMR CNRS 6144), ONIRIS, BP 82225, 44322 Nantes Cedex 3, France
[3]SECALIM (UMR INRA 1014), ONIRIS, BP 40706, 44307 Nantes Cedex 3, France

Introduction

Avec le nombre toujours élevé de toxi-infections alimentaires collectives en France, l'une des préoccupations majeures de la filière viande est d'assurer une qualité sanitaire irréprochable. En outre, les consommateurs se tournent de plus en plus vers des produits peu ou pas transformés. Afin de satisfaire la demande des consommateurs tout en assurant la sécurité des produits, l'utilisation de nouvelles techniques non thermiques de préservation des aliments a été envisagée. A ce titre, les hautes pressions hydrostatiques peuvent proposer une alternative intéressante aux traitements conventionnels pour les produits de charcuterie (Garriga et al., 2004). Toutefois, ce procédé n'est pas sans conséquences sur les caractéristiques organoleptiques de ces aliments. En particulier, ses effets sur leur texture ne sont pas encore parfaitement connus (Cheftel et Culioli, 1997). Autrefois ajouté pour son rôle bactériostatique, le sel est de nos jours surtout utile pour son goût et pour son rôle technologique. Il peut agir en effet sur la texture, la couleur et la capacité de rétention d'eau des produits carnés. Cependant, l'implication d'un tel ingrédient dans les troubles de l'hypertension a amené l'AFSSA à recommander la réduction du sel dans les aliments, et en particulier dans les produits de charcuterie, qui représentent le deuxième type d'aliments vecteurs de sodium (AFSSA, 2002).
L'objectif de cette étude consiste donc à caractériser l'effet des hautes pressions sur une matrice alimentaire complexe telle que la viande de porc, en combinaison avec un ingrédient majeur des produits de charcuterie : le sel. L'intérêt est ici d'évaluer le potentiel de ce nouveau procédé pour diminuer l'ajout de sel dans la formulation des produits de la filière viande, tout en conservant des caractéristiques organoleptiques optimales. L'impact de la structure du produit (haché ou non) est également étudié.

Matériel et méthodes

La préparation des différentes matrices s'est effectuée à partir de muscles *Biceps femoris* issus de jambons frais de porc. Une partie de la viande a été conservée intacte, et l'autre partie a été hachée au hachoir à grille (4,5 mm). Ces deux préparations ont été saumurées à trois niveaux de concentration en sel (de 0 à 3 g/100g de viande). Elles ont ensuite subi deux traitements différents. Le lot témoin a été cuit au bain-marie jusqu'à une température à cœur de +70°C. Le second lot a subi un traitement haute pression (500 MPa à 20°C pendant 6 minutes) avant d'être cuit au bain-marie.
L'exsudation liée au procédé a été calculée et la texture de la viande a été évaluée. Un test de cisaillement de Warner-Bratzler a été utilisé sur la viande non hachée et un profil de texture (TPA) a été appliqué à la viande hachée. Afin de compléter l'analyse des caractéristiques organoleptiques, l'évolution de la couleur des échantillons a été suivie à l'aide d'un spectrocolorimètre utilisant les coordonnées trichromiques L*a*b*.
Enfin, l'aspect microbiologique a également été vérifié par un dénombrement de la flore totale (ensemencement en boîte de Pétri sur PCA puis incubation pendant 72 heures à +30°C). Ce dénombrement a été effectué le jour même du traitement et après un vieillissement accéléré de 2 jours à +4°C, 4 heures à +20°C et 4 jours à +8°C.

Résultats et discussion

L'exsudation diminue de manière significative avec l'augmentation de la concentration en sel pour les deux matrices, mais augmente avec l'application du traitement à haute pression. Le sel pourrait cependant limiter la perte d'eau due aux hautes pressions pour la viande hachée comme le propose Iwasaki et al. (2006). Dans le lot témoin, les résultats de texture ont montré une augmentation de la dureté avec le sel pour la viande hachée mais une diminution de la force maximale de cisaillement pour la viande non hachée (figure 1). Ces résultats traduisent un attendrissement de la viande et une cohésion renforcée des mêlées grâce au pouvoir de rétention d'eau du sel, ainsi que sa capacité à dénaturer les protéines. Les protéines halosolubles agissent en effet comme liant. En ce qui concerne le lot pressurisé, les évolutions sont similaires pour la viande hachée et non hachée. Plus la concentration en sel augmente, plus la dureté et la force maximale de cisaillement diminuent, aboutissant à une tendreté plus importante dans les deux modèles. L'application d'un traitement haute pression seul,

implique une augmentation marquée de la dureté de la viande hachée et un durcissement du muscle, ce qui avait été observé sur le bœuf par Jung et al. (2000). L'évolution de la texture semble donc être sous l'effet de plusieurs facteurs : l'exsudation, qui reflète la cohésion de la matrice au sens large et la dénaturation protéique engendrée par le procédé (cuisson et hautes pressions).

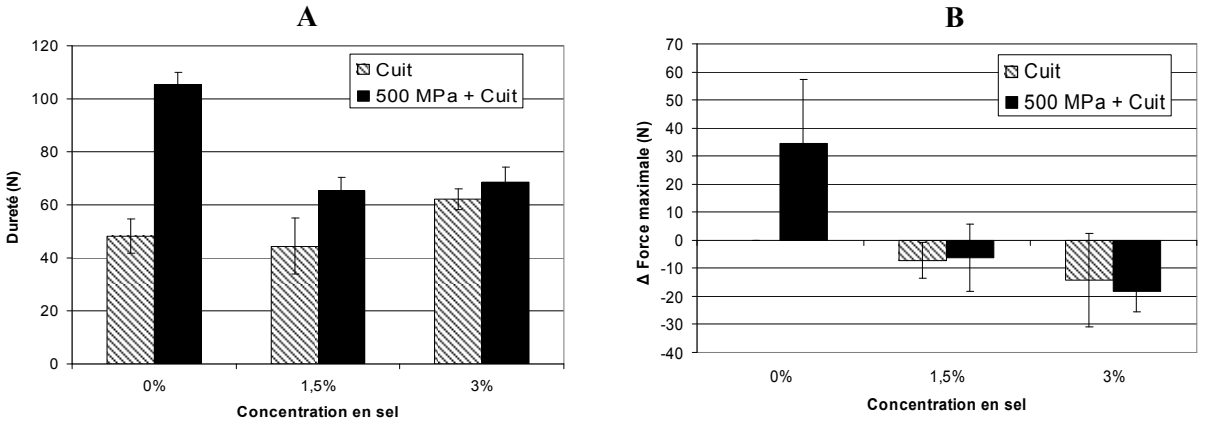


Figure 1 : Évaluation de la texture des deux matrices modèles en fonction du procédé et de la concentration en sel. (A) : Dureté de la viande hachée. (B) : Texture de la viande non hachée exprimée en variation de force maximale de cisaillement par rapport au témoin cru et non saumuré.

L'interaction de la force ionique avec les hautes pressions sur la gélification des protéines n'est pas encore claire (Jimenez-Colmenero et al., 1998). Des travaux antérieurs ont toutefois rapporté une possible amélioration, à l'aide de sel, de la texture de viande hachée de porc pressurisée (Iwasaki et al., 2006). Les résultats montrent ici que le durcissement entraîné par la pressurisation peut être corrigé par l'ajout de sel, même à plus faible concentration (1,5g/100g). De plus, les autres investigations menées ont confirmé le « blanchiment » engendré par les hautes pressions (Carlez et al., 1995), probablement dû à la dénaturation de la myoglobine, que la viande soit hachée ou non. Cependant, ce phénomène reste limité sur une viande dite blanche et l'utilisation du sel semble le corriger (Jimenez-Colmenero et al., 1998). L'indice de clarté L* est en effet augmenté par la pression mais diminué par l'ajout de sel, et l'indice de rouge a* est augmenté par le sel mais diminué par la pression. L'évaluation de la qualité microbiologique a montré une diminution significative de la flore totale par les hautes pressions, même après le vieillissement accéléré. En effet, il a été constaté une réduction de plus de 3 log CFU/g avant vieillissement sur de la viande non hachée pressurisée. De plus, une reprise de croissance a été uniquement trouvée sur de la viande pressurisée non saumurée. Ceci souligne l'existence d'un effet synergique des hautes pressions et du sel sur la croissance de la flore endogène. La possibilité de réduire la quantité de sel dans les produits à base de viande de porc pourrait donc être envisagée sans que la qualité microbiologique du produit ne soit dépréciée (Pietrzak et al., 2007).

Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence l'existence d'un potentiel intéressant pour les hautes pressions appliquées aux produits carnés. Ce procédé pourrait en effet pallier les modifications engendrées par la diminution du sel. Cet ingrédient technologique donne des propriétés intéressantes aux produits en leur assurant une bonne cohésion et en limitant l'exsudation. L'application d'un traitement haute pression pourrait permettre de créer un produit appauvri en sel mais aux qualités technologiques et microbiologiques acceptables. Il a en effet été montré que la pascalisation maintenait une bonne texture même à faible taux de sel, tout en garantissant une couleur acceptable et une durée de conservation satisfaisante.

Références bibliographiques

AFSSA, 2002. Rapport sel : Evaluation et Recommandations, 200 p.
Carlez A., Veciana-Nogues T., Cheftel J.C., 1995. LWT-Food Sci. Technol., 28, 528-538.
Cheftel J.C., Culioli J., 1997. Meat Sci., 46, 211-236.
Garriga N., Grèbol N., Aymerich M.T., Monfort J.M., Hugas M., 2004. Innov. Food Sci. Emerg., 5, 451-457.
Iwasaki T., Nishiroya K., Saitoh N., Okano K., Yamamoto K., 2006. Food Chem., 95, 474-483.
Jimenez-Colmenero F., Fernandez P., Carballo J., Fernandez-Martin F., 1998. J. Food Sci., 63, 656-659.
Jung S., Ghoul M., de Lamballerie-Anton M., 2000. Meat Sci., 56, 239-246.
Pietrzak D., Fondberg-Broczek M., Mucka A., Windyga B., 2007. High Pressure Res., 27, 27-31.

EMPLOI DU MONOXYDE DE CARBONE POUR LE CONDITIONNEMENT D'UVC DE BŒUF SOUS ATMOSPHERE

[1]LEGRAND I., [2]RECOULES E.
[1]Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 14310 Villers-Bocage, France
[2] Ecole d'Ingénieurs de Purpan, 31076 Toulouse cedex 3, France

Introduction

Depuis quelques années, en France comme dans d'autres pays, la commercialisation des viandes rouges au détail se réalise de manière croissante sous forme d'UVC (Unités de Vente au Consommateur) proposées au rayon libre service. Le conditionnement sous atmosphères protectrices enrichies en oxygène est en plein développement, prolongeant la durée de vie microbiologique de la viande, tout en exacerbant la couleur rouge demandée par le consommateur. L'apparition d'une décoloration précoce du produit limite toutefois la durée de vie à une dizaine de jour, certains produits pouvant même s'altérer avant la DLC. Elle génère des pertes pour les industriels conditionneurs et/ou distributeurs, qui recherchent une technique garantissant la couleur rouge désirée sur toute la DLC.
L'emploi de faibles doses de monoxyde de carbone au sein de l'atmosphère pourrait constituer une solution intéressante. Ce gaz sécuriserait les durées de vie commerciales grâce à la formation de carboxymyoglobine en surface, de couleur vive et stable (Turubatovic et al., 2008). Récemment autorisé par les Etats-Unis (Sorheim, 2003 ; FDA, 2004), l'emploi du CO dans les atmosphères de conditionnement des viandes reste interdit par la Communauté européenne (European Commission, 2001). Cette dernière estime la technique de nature à masquer une éventuelle perte de salubrité du produit, du fait d'une couleur maintenue très attractive, induisant le consommateur en erreur.
Ce texte présente les résultats d'un travail réalisé sur le sujet, pour le compte d'Interbev et de FranceAgriMer (Legrand et Recoules, 2010). Le projet entendait examiner les freins à l'autorisation du CO en Europe, en travaillant sur le problème de la détection d'éventuelles altérations microbiologiques de la viande conditionnée en présence de ce gaz. Ce travail était aussi l'occasion, pour la filière, de récupérer une première série des données officielles sur les performances de cette technologie dont il est beaucoup question dans les récentes recherches en viande à l'international.

Matériels et méthodes

Outre une étude bibliographique sur le monoxyde de carbone (CO), le travail compte deux expérimentations, en conditions françaises, sur des UVC de bœuf sous atmosphère contenant de faibles doses de CO (0,4%). Un premier essai étudie une atmosphère sans oxygène (0,4% CO/69,6% N_2/30% CO_2, et absorbeur d'oxygène) ; et un second une atmosphère suroxygénée (0,4% CO, 69,6% O_2/30% CO_2). Il s'agit de voir s'il existe des indicateurs d'une éventuelle altération microbiologique des viandes, accessibles au consommateur, pour des DLC courantes, respectivement 21 et 8 jours. Afin d'augmenter les chances d'observer de forts développements microbiens, les viandes sont contrôlées bien au-delà de la DLC. De plus, deux modalités de conservation sont suivies dans chaque essai, l'une intégrant une rupture de la chaîne du froid (passage de 2°C à 8°C) dans le dernier tiers de la DLC et l'autre dès le premier tiers de la DLC. La viande provient de 22 vaches laitières Prime Holstein, respectivement 12 et 10 pour les essais 1 et 2, les deux circuits de température étant étudiés intra-animal. Les 14 steaks de faux-filet d'un même animal sont affectés de manière aléatoire à l'une des 4 dates de contrôle retenues : J0 (avant conditionnement), J0+16, +23 (DLC+2) et +31 jours en l'absence d'oxygène ; J0, J0+6, +9 (DLC+1), J0+12 jours en présence d'oxygène, soit 2 steaks à J0 et à chaque date pour chaque circuit de température. Les contrôles portent sur le niveau de contamination des steaks (flore aérobie mésophile, bactéries lactiques, flores d'altération) et sur l'aspect commercial apprécié de manière sensorielle par un jury de 5 personnes et par des mesures instrumentales de couleur, au Chromamètre CR-300 de Minolta et au spectrocolorimètre. Des évaluations sensorielles sur viandes grillées sont aussi réalisées, afin de détecter d'éventuelles dégradations d'odeurs et de flaveurs. Quelques données complémentaires sont obtenues, pour les atmosphères exemptes d'O_2, sur des faux-filets de 4 autres animaux. Certaines de ces viandes sont ensemencées avant le conditionnement, à hauteur de 10^3 *Pseudomonas spp.* ou de 10^3 entérobactéries. Il s'agit de se donner les moyens d'observer l'évolution de viandes microbiologiquement chargées dès le conditionnement, dans les mêmes conditions de température que pour les essais principaux.

Résultats et discussion

En l'absence d'oxygène, le conditionnement sous atmosphère modifiée incluant 0,4% de CO permet de maintenir une couleur rouge « cerise » à la viande sur de longues durées, dépassant la DLC de 21 jours (tableau 1). Les résultats de l'essai principal et des analyses complémentaires avec ensemencements en flores d'altération sont très disparates quant à l'évolution des qualités microbiologiques et commerciales des UVC. Mais, ils conduisent rarement à des situations à risque pour le consommateur. Deux cas de figures sont principalement observés :
- des viandes présentant en moyenne une **faible évolution microbiologique**, malgré d'importantes ruptures de la chaîne du froid pour une partie d'entre elles (tableau 1 même constat dans l'essai suivant, en présence d'oxygène, tableau 2),

- des UVC présentant de fortes évolutions des contaminations, notamment en entérobactéries, en médiocres conditions de conservation, mais un **gonflement** consécutif des barquettes, rendant le produit inachetable par un consommateur.
Il reste quelques UVC présentant de notables évolutions bactériologiques, au sein d'un lot évoluant en moyenne très peu (premier cas évoqué). Ni l'évaluation sensorielle des viandes crues, ni celle des viandes cuites (intensité et qualité d'odeurs) ne permettent de déceler systématiquement les steaks en question (n = 18). Le risque sanitaire ne semble donc pouvoir être totalement exclu, même s'il est difficile de conclure sur ce point. Reste que ces viandes ont déjà au moins 16 jours de conservation et que les niveaux de contamination ne sont pas rédhibitoires.
Au vu de ces résultats, il semble qu'une piste intéressante consisterait à utiliser le monoxyde de carbone au sein d'atmosphères exemptes d'oxygène sur l'actuel créneau des UVC suroxygénées, pour une durée de l'ordre d'une douzaine de jours. Ceci permettrait de limiter les pertes subies au détail par les conditionneurs industriels et/ou distributeurs, sans risque majeur.

Tableau 1. Mesures sensorielles (échelles en 5 points), instrumentales et microbiologiques moyennes des steaks conditionnés sous atmosphère **exempte d'O_2** et contenant 0,4% de CO, après le déconditionnement.

		J0	T° maîtrisée			T° mal maîtrisée		
			J0 + 16 j	J0 + 23 j	J0 + 31 j	J0 + 16 j	J0 + 21 j	J0 + 31 j
Evaluations sensorielles (5 = parfait, 3 = limite, 1= très dégradé ; n = 60/cellule, 120 pour les odeurs)	Intensité d'odeur	-	4,71	4,66	3,93	4,62	4,33	3,48
	Altération de couleur	-	4,62	4,03	3,98	4,43	4,07	4,22
	Appréciation globale	-	3,82	3,77	3,13	3,73	3,52	**2,88**
Mesures de couleur (n = 12/cellule)	a* (CIE L*a*b*)	19,55	28,65	28,85	28,92	27,53	29,59	28,61
	R630 - R580 (rouge vif)	12,82	20,45	19,36	18,11	19,45	19,65	17,72
Contaminations (log_{10} UFC/g ; n = 12/cellule)	Flore aérobie mésophile	1,76	2,04	2,67	3,99	3,69	2,92	3,77
	Flore lactique	0,96	1,35	1,55	1,11	2,30	1,81	1,77
	Entérobactéries	0,95	0,95	1,23	1,74	1,56	1,55	2,33

Par contre, il y a globalement peu d'intérêt à introduire 0,4% monoxyde de carbone au sein d'UVC suroxygénées telles que couramment rencontrées à la distribution, en conditions françaises. La forte teneur en oxygène permet d'obtenir une couleur de teinte habituelle, mais la présence de monoxyde de carbone n'empêche pas les rapides altérations de couleur. Les performances sont proches de celles de classiques atmosphères suroxygénées : la dégradation commerciale précède l'altération microbiologique (tableau 2). Ce résultat est décevant, mais le risque de santé publique semble inexistant.

Tableau 2. Mesures sensorielles (échelles en 5 points), instrumentales et microbiologiques moyennes des steaks conditionnés sous atmosphère **enrichie en O_2** et contenant 0,4% de CO, après le déconditionnement

		J0	T° maîtrisée			T° mal maîtrisée		
			J0 + 6 j	J0 + 9 j	J0 + 12 j	J0 + 6 j	J0 + 9 j	J0 + 12 j
Evaluations sensorielles (5 = parfait, 3 = limite, 1= tres dégradé; n = 50/cellule)	Altération de couleur	-	4,50	3,14	**2,68**	4,16	3,02	**2,56**
	Appréciation globale	-	4,36	3,22	**2,76**	4,02	3,04	**2,56**
Mesures de couleur (n= 10/cellule)	a* (CIE L*a*b*)	20,28	23,78	21,89	20,10	22,20	21,04	19,64
Contaminations (log_{10} UFC/g ; n = 10/cellule)	Flore aérobie mésophile	1,22	1,12	1,60	2,50	1,30	2,44	3,83

Conclusions

Longtemps pratiquée en Norvège avant d'être délaissée suite à l'interdiction européenne de 2001, l'utilisation du CO dans les UVC de viande est autorisée depuis peu aux USA, mais controversée. D'après les expérimentations effectuées, l'introduction de 0,4% de CO dans une atmosphère exempte d'oxygène permet de garder une couleur de viande très attractive sur de longues durées. Le risque sanitaire semble réduit, mais ne peut être totalement écarté : la variabilité des résultats microbiologiques obtenus est importante, de même que les liens avec l'aspect commercial des UVC. Il serait nécessaire de consolider ces données et de mieux connaître l'impact microbiologique du CO, si la profession souhaitait faire remonter son intérêt pour la technique auprès des instances officielles.

Références bibliographiques

European Commission, 2001. Opinion of the Scientific Committee on Food on the use of carbon monoxide as component of packaging gases in modified atmosphere packaging for fresh meat. SCF/CS/ADD/MSAd/204 Final, adopted December 13 and published December 18, 2001, Brussels, Belgium, 9p.
FDA, 2004. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000143. Center of Food Safety and Applied Nutrition, Office of Food Additive Safety, July 29.
Legrand I., Recoules E., 2010. Compte rendu final n° 000932112. Interbev et FranceAgriMer.
Sørheim, O., 2003. Request for an amendment inserting CO as a packaging gas, in annex 1 of Directive 95/2 EC., 2 p.
Turubatovic L.R., Milijasevic M.P., Jovanovic J.B., Velebit B.M., 2008. Proceedings 54th ICoMST, session 3A.14.

ETUDE DES PERTES EN JUS DE MUSCLE *SEMIMEMBRANOSUS* DE BŒUF LORS D'UNE CUISSON HUMIDE

OILLIC S.[1,2], LEMOINE E.[2], GROS J.B.[3], KONDJOYAN A.[1]

[1]INRA Clermont-F[d] Theix – Qualité des Produits Animaux – Equipe Couplage Transferts-Transformations – 63122 Saint-Genès-Champanelle
[2]ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, ZAC des Gravanches, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2
[3]LGCB, Université Blaise Pascal, 24 avenue des Landais, BP 206, 63174 Aubière cedex

Introduction

Au cours de la cuisson, la viande de bœuf peut perdre une grande quantité de sa masse sous forme de jus. La perte en eau détermine le rendement technologique de l'opération et est donc prépondérante pour les industriels. Elle affecte la qualité de la viande cuite en déterminant sa jutosité et en étant liée à l'évolution de sa tendreté. Des micronutriments peuvent aussi être expulsés avec le jus de cuisson, ce qui diminue la qualité nutritionnelle du produit. L'expulsion du jus est indépendante de l'évaporation de surface (Bouton et al., 1976; Laroche, 1982). Dans le cas de cuisson très longue, il a été montré que, pour un muscle donné, la perte totale de jus dépendait essentiellement de la température de cuisson (Bouton et al., 1976; Bendall et Restall, 1983). Ce travail est focalisé sur l'analyse des pertes à la cuisson lors de traitements thermiques de durée moyenne ou courte.

Matériel et Méthodes

Les muscles *Semimembranosus* étudiés provenaient de vaches de race charolaise âgées de un à quatre ans. Ils étaient mis sous vide trois jours après abattage et maturés à 4°C jusqu'à douze jours post-mortem. Après maturation, le muscle était congelé puis stocké à une température de -20°C. Avant l'expérience, l'extérieur de l'échantillon était soumis à une température de -2,5°C, pour lui imposer une certaine rigidité et pouvoir le découper avec précision. Les échantillons étaient découpés au couteau en cubes ou en parallélépipèdes. L'erreur sur les dimensions des cubes et parallélépipèdes était de +/-1,0 mm. Les échantillons étaient enveloppés et placés dans une enceinte à 10°C pendant 60 à 120 minutes, pour que leur température au début de la cuisson soit identique et homogène. Ils étaient ensuite pesés puis plongés dans un bain marie agité et thermostaté. Après un temps donné, les échantillons étaient retirés du bain Marie, refroidis à température ambiante et placés dans une coupelle préalablement tarée, le tout étant pesé pour déterminer la masse de l'échantillon cuit. L'échantillon était ensuite placé dans une étuve à 104°C pendant 48 heures.
Les cinétiques de pertes à la cuisson ont été mesurées sur des cubes et des parallélépipèdes de dimension comprises entre 1 cm x 1 cm x 1cm et 7cm x 7cm x 28 cm. Pour chaque dimension d'échantillon, les cuissons ont été réalisées à des températures de 50°C, 70°C et 90°C et pour cinq durées de chauffage différentes variant en fonction de la taille de l'échantillon. Ces temps ont été choisis afin d'obtenir des pertes à la cuisson régulièrement réparties sur la cinétique potentielle de perte de jus. Il est très difficile de mesurer précisément la température au sein d'un échantillon de viande de bœuf lors de sa cuisson par convection du fait : (1) de l'imprécision sur le positionnement des sondes de température avant cuisson, et (2) du mouvement de ces sondes en cours de cuisson, liée à la contraction protéique. Lors de ce travail la température des échantillons a donc été calculée numériquement en considérant que le transfert thermique dans le produit était purement conductif et en introduisant dans le modèle les paramètres suivants : $Cp = 3200$ J kg K^{-1}, $\rho = 1060$ kg.m^{-3} et $\lambda = 0{,}45$ W m^{-1} K^{-1}. La valeur du coefficient de transfert convectif qui servait à déterminer le flux de chaleur échangé entre la surface de l'échantillon et l'eau du bain marie a été prise comme égale à 2500 W m^{-2} K^{-1}.L'évolution des températures a été calculée en trois dimensions par une méthode aux éléments finis en utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics 3.4 (Comsol AB, Suède).

Résultats et Discussion

L'évolution de la teneur en eau, notée X, dépend fortement de la température. Les résultats obtenus pour une température de cuisson de 70°C et des cubes de *Semimembranosus* de bœuf de 1cm, 3cm, 5cm et 7cm de côté sont présentés sur la figure 1. La concentration en eau minimale atteinte dans l'échantillon pour les traitements les plus longs X_∞, ne dépend pas des dimensions du cube mais seulement de la température de cuisson. Pour une température et un temps de cuisson donnés, la perte à la cuisson diffère d'un cas à l'autre du fait de la grande variabilité de la teneur en eau dans l'échantillon cru. L'observation de la figure 1 montre que la variation de la teneur en eau est d'autant plus lente que l'échantillon est volumineux. Ceci peut dans un premier temps être attribué à l'inertie thermique, qui est directement liée à la taille du produit. Mais il n'est pas possible de corriger cet effet en ne tenant compte que du temps mis pour que la température moyenne atteigne une valeur donnée. Cet état de fait est principalement lié au fait que les temps caractéristiques des cinétiques thermique et massique ne sont pas du même ordre. En effet pour un cube d'un cm^3 il faut environ deux minutes pour que la température moyenne de l'échantillon atteigne 99% de sa température finale tandis qu'à ce stade la variation de teneur en eau dans l'échantillon cuit à 70°C n'est encore que de la moitié de sa

variation totale observée en fin de cuisson. La cinétique de perte de masse est donc beaucoup plus lente que la cinétique thermique.

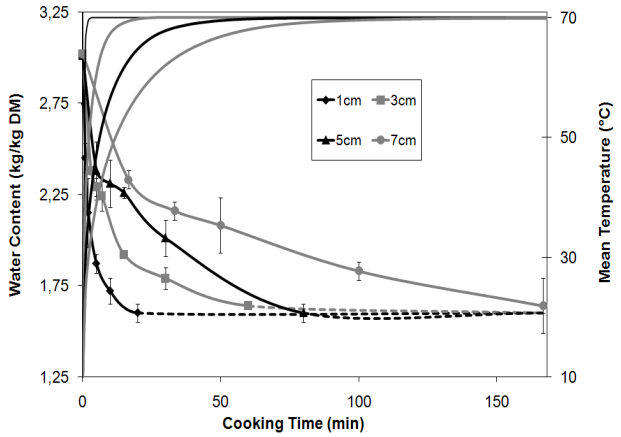


Figure 1 : Evolution de la concentration en eau X, et de la température moyenne de cubes de différentes dimensions lors de leur cuisson à 70°C.

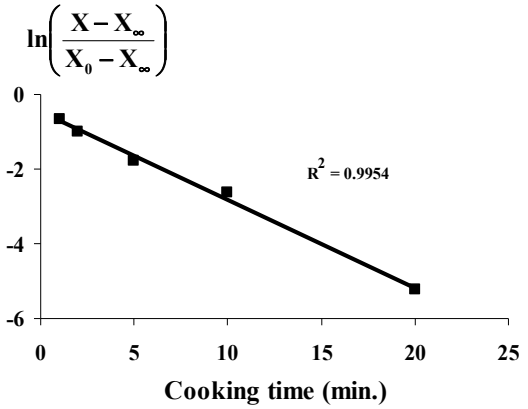


Figure 2 : Représentation sous la forme $\ln((X-X_\infty)/(X_0-X_\infty)) = f(t)$ des résultats obtenus sur des cubes de un centimètre de côté cuits à 70°C

Les évolutions de teneur en eau reportées sur la figure 1 suggèrent que pour une température de cuisson donnée, l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps de cuisson pourrait être représentée par une loi cinétique du premier ordre ; l'asymptote X_∞ ne dépendant que de la température de cuisson. Dans le cas d'une température homogène au sein de l'échantillon les résultats devraient s'aligner selon la droite : $\ln((X-X_\infty)/(X_0-X_\infty)) = k^* t$. Les résultats obtenus sur des cubes de 1cm ont été représentés sous la forme $\ln((X-X_\infty)/(X_0-X_\infty)) = f(t)$ pour vérifier la pertinence cette hypothèse (figure 2). Mais ceci n'est pas vérifié pour les pièces de viande de dimension supérieure à 1 cm pour lesquelles les gradients de température sont plus marqués. Pour aller plus loin il faudrait déterminer X localement en tenant compte de l'évolution du gradient de température dans le produit.

Conclusion et perspectives

Les pertes à la cuisson dépendent à la fois de la teneur en eau du produit cru et de l'évolution de la température. La teneur en eau du produit cru est très variable d'un échantillon à l'autre. Au contraire, la teneur minimale en eau obtenue en fin de cuisson X_∞, est une valeur fixe qui ne dépend ni de la teneur en eau initiale de l'échantillon ni de ses dimensions mais de la température de cuisson. La forme de ces cinétiques de teneur en eau suggère qu'elles pourraient être représentées par une loi cinétique du premier ordre. Mais pour des pièces de viande de dimension supérieure à 1 cm il faudrait déterminer X localement en tenant compte de l'évolution du gradient de température dans le produit. Un tel modèle permettrait de prédire les pertes à la cuisson sur des pièces de viandes de bœuf de géométrie différente et dans toutes les conditions de cuisson humide rencontrées en pratique.

Références bibliographiques

Bendall J.R., Restall D.J., 1983. Meat Science, 8, 93-117
Bouton P.E., Harris P.V., Shorthouse W.R., 1976. J. Food Sci., 41, 1092-1095
Laroche M., 1982. LebensMittelWissenschaft und Technologie, 15, 131-134

INTÉRET TECHNOLOGIQUE DE L'APPLICATION AUX VIANDES HACHÉES DE TECHNIQUES DE CUISSON ALTERNATIVES

PICGIRARD L., RISPAL O.

ADIV, ZAC des Gravanches, 10 rue Jacqueline Auriol,
63039 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2, France

Introduction

Depuis l'intoxication alimentaire due à la présence d'*Escherichia coli* O157:H7 en novembre 2005, les industriels producteurs de viandes hachées, doivent livrer à la restauration collective soit des viandes hachées crues ayant subi un contrôle libératoire avant livraison, soit traiter thermiquement ces viandes hachées à 65°C à cœur minimum. La précuisson des viandes hachées, telle qu'elle est pratiquée actuellement en industrie (air chaud ou plaque chaude) associée au réchauffage en collectivité, aboutit à des produits de qualité organoleptique insatisfaisante. Il est donc indispensable pour les entreprises de disposer de techniques de pasteurisation alternatives pour concilier sécurité alimentaire et qualité organoleptique des viandes hachées. De plus, une note du SNRC (Syndicat National de la Restauration Collective) indique clairement qu'il est conseillé de ne plus intégrer de viandes hachées aux menus des restaurants si les produits cuits à 65°C ne présentent pas des qualités organoleptiques satisfaisantes (SNRC, 2006).
Le chauffage ohmique semble être une technologie prometteuse, car elle permet un chauffage très homogène dans la masse et une montée très rapide en température (Peyron, 1996). Si un refroidissement très rapide est appliqué après cuisson, on pourrait obtenir l'équivalent d'un traitement UHT, peu dénaturant. De même, la technologie micro-onde, comme la cuisson ohmique, se caractérise par un très bon rendement énergétique et devrait donc permettre un chauffage rapide des steaks hachés (Joallard, 1996a, 1996b).
Le présent article effectue une synthèse des impacts technologiques et organoleptiques de 2 techniques de cuisson alternatives : les micro-ondes et le chauffage ohmique.

Matériels et méthodes

5 types de cuisson ont été comparés :
- une cuisson ohmique à 92% de la puissance du générateur sur une viande hachée nature jusqu'à 65°C à cœur, suivie d'un grillage de 25 secondes par face à 240°C,
- une cuisson ohmique à 92% de puissance jusqu'à 65°C à cœur sur une viande hachée salée à 7g /kg et grillée 25 secondes par face à 240°C,
- une cuisson au grill à 240°C jusqu'à 65°C à cœur,
- une cuisson au four à 200°C et 30% HR jusqu'à 65°C à cœur.
- une cuisson au four micro-ondes à une puissance de 800 W jusqu'à 65°C à cœur, suivie d'un grillage à 240°C, 25 secondes par face.

Les essais ont porté sur des steaks hachés de 125g à 15% de lipides, cas le plus défavorable par rapport à une teneur de 20% vis-à-vis de la perception de jutosité. Chaque steak a été cuit individuellement.
Les cuissons ohmiques ont été conduites à l'aide d'un générateur 5kW réglable en puissance fonctionnant à la fréquence de 25000 Hz et d'un système d'application du courant constitué de 2 électrodes en acier inoxydable à la forme des steaks (ellipse) pour assurer la transmission du courant dans le produit. Les cuissons micro-ondes ont été faites sur un équipement SAIREM®, réglable en puissance, fonctionnant à la fréquence de 2450 MHz et équipé d'un plateau tournant. Les cuissons au grill et les grillages des steaks cuits par technique rapide ont été réalisées à la température de 240°C sur un grill simple face Thirode® avec chauffage au gaz. Les cuissons au four ont été réalisées avec un four de collectivité Bonnet® Equator®.
Pour chaque type de cuisson, 18 à 22 steaks ont été mis en œuvre. Les rendements après cuisson et après refroidissement ont été mesurés pour chacun d'eux. Après cuisson, les steaks ont été refroidis, en cellule de refroidissement rapide ventilée à 0 /+ 1°C. Un profil sensoriel a été réalisé sur les steaks cuits suivant les 5 technologies. Il a été conduit avec 10 à 12 sujets sélectionnés et qualifiés qui ont évalué les produits à l'aide d'un questionnaire construit avec des échelles discontinues en 7 points. Les 5 produits ont été testés en une séance unique en contrôlant l'effet de position selon un protocole complet et équilibré. Ils ont été présentés après un réchauffage de 15 minutes à 70°C et 70 % HR.

Résultats et discussions

Les résultats des rendements de cuisson sont synthétisés dans le tableau 1. Une indication du temps moyen de cuisson des steaks (hors grillage pour les techniques alternatives) est également donnée.

Tableau 1 : Comparaison des rendements de cuisson sur les steaks cuits selon les 5 technologies (a,b,c,d : des lettres différentes dans une même colonne signifient que les moyennes sont significativement différentes – P<0.05)

Technique de cuisson	Nombre de valeurs	Rendement de cuisson à chaud (%)	Rendement de cuisson + grillage à chaud (%)	Rendement global à froid (%)	Temps de cuisson
Micro-ondes 800 W	18	69,8 ± 2,9 (d)	67 ± 2,41 (c)	64 ± 2,2 (d)	2 min
Chauffage ohmique /nature	22	83,4 ± 3 (b)	80,1 ± 2,7 (b)	77,8 ± 1,8 (b)	9 s 30''
Chauffage ohmique/salage à 7g /kg	20	92,3 ± 2,7 (a)	85,8 ± 2,2 (a)	82,8 ± 1,5 (a)	8 s 40''
Grill 240°C	22	76,1 ± 1,5 (c)	/	73,9 ± 0,7 (c)	8 min
Four 200°C	22	76,3 ± 2,4 (c)	/	73,1 ± 1,1 (c)	10 min

Les cuissons ohmiques avec ou sans sel se distinguent par des rendements significativement supérieurs à ceux obtenus par les autres techniques, le meilleur résultat ayant été obtenu avec 7g /kg de sel. La cuisson micro-ondes se distingue par les rendements les plus bas. Les rendements de cuisson au grill et au four ne sont pas significativement différents et se situent à des valeurs intermédiaires habituellement rencontrées en milieu industriel.

Au niveau sensoriel, seuls les résultats les plus discriminants sont présentés. La cuisson ohmique en présence de sel se caractérise par un aspect de surface plus humide (aspect moins sec et moins grillé), moins déformé des steaks, une meilleure tenue, une texture peu granuleuse, juteuse avant mastication et tendre, un goût plus intense, moins amer mais salé. La cuisson ohmique sans sel se différencie par un aspect moins déformé, une meilleure tenue, une texture tendre en fin de mastication. La cuisson au grill apporte aux steaks cuits un aspect, une odeur et un goût grillé nettement supérieurs aux autres techniques, une texture tendre en fin de mastication. Les steaks cuits au micro-onde se différencient par une texture sèche. Les produits traités au four à 200°C n'ont aucune caractéristique particulière. Comme pour les résultats de rendements, la cuisson ohmique en présence de sel apporte les meilleurs résultats, notamment en terme de texture. Au niveau gustatif, les steaks cuits par voie ohmique présentent un déficit de la saveur grillée habituellement attendue pour ce type de produit. Le grillage de 25 secondes par face après cuisson est sans doute insuffisant.

Conclusion

La cuisson ohmique associée à un grillage de 20 secondes par face permet d'obtenir les rendements de cuisson les plus avantageux, des caractéristiques de jutosité supérieures et une déformation moindre des steaks notamment lorsque la viande est salée à 7 g/kg. Il s'agit en plus d'une technique très rapide : 8,5 secondes de temps de cuisson pour un steak de 125 g. La cuisson micro-ondes, à une puissance de 800W, permet également des temps de cuisson courts. 2 minutes sont nécessaires pour atteindre 65°C à cœur. Cependant la fréquence utilisée, 2 450 MHz, conduit à de fortes hétérogénéités de cuisson entre la périphérie et le cœur des steaks. La température de surface atteint 90°C pour une température à cœur de 65°C. De ce fait, les rendements de cuisson obtenus sont très mauvais. Au niveau sensoriel, les produits sont perçus comme les plus fermes, ce qui confirme les données de la bibliographie (Serrano et al., 2007).
La technologie alternative que constitue le chauffage ohmique semble donc très prometteuse au regard des méthodes habituelles. Un traitement complémentaire de la surface, qui reste crue après cuisson, par technique conductive ou convective reste, malgré tout, indispensable. Du fait des temps de cuisson beaucoup plus courts, on peut présumer que les caractéristiques nutritionnelles des produits cuits par voie ohmique pourraient être meilleures (composés d'oxydation, amines hétérocycliques en quantités moindres), mais ceci reste à valider.

Bibliographie

Joalland G., 1996a. VPC 17, 2, 63-72.
Joalland G. , 1996b. VPC 17, 3, 113-124.
Peyron A., 1996. VPC 17,6, 255-262.
Serrano A., Librelotto J., Cofrades S., Sanchez-Muniz F.J., Jimenez-Colmenero F., 2007. Meat Science 77, 3, 304-313.
SNRC, 2006. Note d'information aux adhérents, 28/07/2006, 2 p.

Remerciements

Cette étude a été conduite grâce au soutien financier d'Interbev et de FranceAgrimer.

EFFET DE L'ARGON SUR LA COULEUR DE FILETS DE TRUITE ARC-EN-CIEL AYANT CONSOMMÉ DES CAROTÉNOÏDES

CHOUBERT G.[1], BRISBARRE F.[1], PARFOURU D.[2], BACCAUNAUD M.[3]

[1]UMR 1067 INRA, Pôle d'hydrobiologie, 64310 - Saint Pée-sur-Nivelle, France
[2]Viviers de France, 40260 - Castets, France
[3]Agrotec, Site Agropôle, BP 102, 47931 – Agen cedex 9, France.

Objectif

La couleur de la chair des salmonidés est due aux caroténoïdes d'origine alimentaire, essentiellement astaxanthine et canthaxanthine, que le poisson ne peut synthétiser *de novo*. En milieu naturel, les poissons trouvent ces caroténoïdes dans leurs proies. En pisciculture intensive, ces composés sont ajoutés à leur alimentation. La couleur de la chair des salmonidés est un des critères majeurs de qualité perçue par le consommateur. Il est donc essentiel de la maintenir tout au long du procédé de transformation et au cours de l'entreposage. Cependant les filets de poissons exposés à l'oxygène de l'air se décolorent en raison de phénomènes d'oxydation des caroténoïdes. L'utilisation de l'argon a été rapportée pour la protection des nombreuses denrées alimentaires excepté le poisson (Spencer et Humphreys, 2003).
L'objectif de cet essai était d'étudier la stabilité de la couleur de filets de truites ayant consommé des caroténoïdes (astaxanthine et canthaxanthine) conditionnés sous deux atmosphères modifiées : argon/CO_2 et azote/CO_2 en comparaison avec de l'air (comme témoin) et entreposés au froid (+2° C) pendant 26 jours.

Matériels et méthodes

Des filets de truite (*Oncorhynchus mykiss*) ayant reçu dans leur alimentation des caroténoïdes (100 mg d'astaxanthine / kg d'aliment ou 80 mg de canthaxanthine/kg d'aliment) ont été conditionnés sous air et sous atmosphère modifiée, 60% Ar/40% CO_2 ou 60% N_2/40% CO_2 et entreposés au froid positif +2°C pendant 26 jours. Les échantillons de filets de poissons étaient analysés à 0, 5, 9, 13, 16, 19, 22, 26 jours après préparation. Les analyses effectuées étaient la composition gazeuse des emballages, la quantité d'exsudat et sur les muscles de poisson : le pH interne, la couleur de surface, la concentration en caroténoïdes, la teneur en lipides totaux, l'oxydation des lipides (TBARS) et la flore mésophile aérobie.

Résultats et discussion

L'évolution de la couleur et des TBARS dans les filets de truite recevant dans leur alimentation de l'astaxanthine ou de la canthaxanthine conditionnés sous atmosphère modifiée sont représentés sur la figure 1.

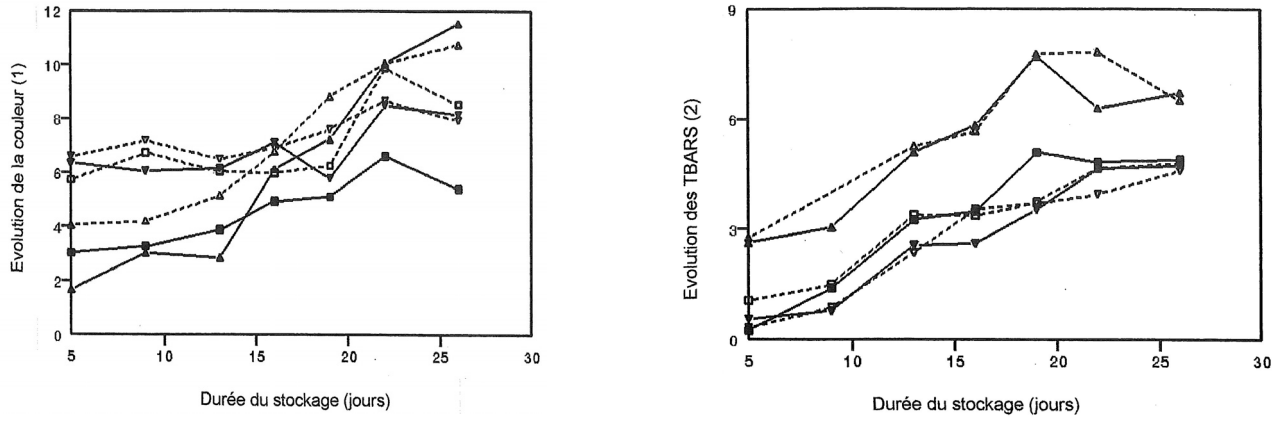


Figure 1 : Evolution de la couleur (figure de gauche) et des TBARS (figure de droite) dans les filets de truite recevant dans leur alimentation de l'astaxanthine (pleins) ou de la canthaxanthine (pointilles) conditionnés sous atmosphère modifiée (■/□ 60% Ar/40% CO_2, ▼/¤ 60% N_2/40% CO_2) et air (▲/Δ), et entreposés à +2° C pendant 26 jours. (1) les évolutions de couleur ont été calculées selon : $(\Delta E)_t = x - (\Delta E)_{t=0}$. (2) Les évolutions des TBARS selon : $(TBARS)_t = x - (TBARS)_{t=0}$. Les concentrations en TBARS sont exprimées en nmol de malondialdéhyde/g muscle en frais. Les valeurs sont des moyennes ± SEM, n = 4.

La couleur des filets de poisson a été significativement (P < 0,05) affecté par les caroténoïdes ingérés, les mélanges gazeux utilisés et la durée du stockage. Les filets provenant de truites ayant consommé de l'astaxanthine ont montré une moindre réduction de la couleur (-5%) que ceux provenant de truites ayant consommé de la canthaxanthine (-8%). Le paramètre de la couleur le plus affecté a été la luminosité, les filets de poissons devenant plus clairs.

Les taux initiaux de TBARS dans les filets de truite, dosés par la méthode de Salih et al., (1987), étaient bas (4-6 nMol/g filet). Les filets provenant de truite ayant consommé de l'astaxanthine et protégés par le mélange Ar/CO_2 ont montré moins de produits d'oxydation que ceux maintenus sous les autres mélanges gazeux. Il n'en a pas été de même pour les filets provenant de truites ayant consommé de la canthaxanthine.

Les concentrations en caroténoïdes des filets de poissons sont rapportées dans le tableau 1. Des changements importants dans les concentrations en caroténoïdes des filets de truite ont eu lieu jusqu'au jour 16 selon les gaz utilisés. Par la suite, ces évolutions ont été moins marquées. Le mélange Ar/CO_2 n'a pas affecté les concentrations en astaxanthine et en canthaxanthine des filets de truite.

TABLEAU 1 : Evolution[1] des caroténoïdes de filets de truites recevant dans leur alimentation de l'astaxanthine ou de la canthaxanthine conditionnés sous atmosphère modifiée et entreposés au froid +2°C pendant 26 jours.

Pigment	Astaxanthine			Canthaxanthine		
Gaz	Air	Ar/CO_2	N_2/CO_2	Air	Ar/CO_2	N_2/CO_2
Jours						
5	1.6 ± 0.3 $^{ab, z\ 2, 3}$	2.3 ± 1.4 $^{a, z}$	9.2 ± 1.9 $^{a, z}$	-8.6 ± 4.4 $^{b, x}$	-0.6 ± 0.5 $^{ab, z}$	9.8 ± 1.9 $^{a, z}$
9	13.4 ± 2.9 $^{a, z}$	11.3 ± 1.3 $^{ab, z}$	13.5 ± 2.0 $^{a, z}$	-4.3 ± 1.3 $^{b, yx}$	0.9 ± 0.5 $^{ab, z}$	13.0 ± 7.4 $^{a, z}$
13	7.8 ± 3.7 $^{ab, z}$	10.3 ± 5.7 $^{ab, z}$	18.8 ± 9.6 $^{a, z}$	4.5 ± 3.7 $^{ab, zyx}$	2.8 ± 1.8 $^{b, z}$	14.5 ± 10.5 $^{a, z}$
16	10.3 ± 5.0 $^{ab, z}$	12.9 ± 1.1 $^{ab, z}$	16.3 ± 3.1 $^{a, z}$	-3.7 ± 1.7 $^{c, yx}$	-7.4 ± 4.2 $^{c, z}$	2.1 ± 1.8 $^{bc, z}$
19	16.8 ± 6.8 $^{a, z}$	12.9 ± 1.6 $^{a, z}$	19.1 ± 4.8 $^{a, z}$	10.3 ± 3.0 $^{a, zy}$	7.7 ± 0.5 $^{a, z}$	12.0 ± 4.1 $^{a, z}$
22	4.6 ± 1.9 $^{a, z}$	-0.5 ± 1.5 $^{a, z}$	12.4 ± 3.6 $^{a, z}$	15.0 ± 5.1 $^{a, z}$	2.5 ± 1.0 $^{a, z}$	9.0 ± 2.7 $^{a, z}$
26	16.0 ± 7.0 $^{a, z}$	10.8 ± 5.1 $^{a, z}$	9.2 ± 3.1 $^{a, z}$	-2.1 ± 3.2 $^{a, yx}$	1.1 ± 8.0 $^{a, z}$	-0.7 ± 1.8 $^{a, z}$

[1] Calculé selon (concentration en caroténoïdes)$_{t=x}$ - (concentration en caroténoïdes)$_{t=0}$. Les concentrations en caroténoïdes sont exprimées en mg de caroténoïde/kg muscle sur une base sèche. [2] Les données sont exprimées en moyennes ± SEM, n = 4. [3] $^{a, b, c,}$ Sur une ligne, les moyennes non suivies par la même lettre sont significativement différentes (P ≤ 0.05); $^{z, y, x,}$ Dans une colonne, les moyennes non suivies par la même lettre sont significativement différentes (P ≤ 0.05).

Un effet négatif a été noté pour les filets de poisson ayant consommé de la canthaxanthine et mis sous air (-10%) et de l'astaxanthine et emballés sous N_2/CO_2 (-8%). Une grande variabilité dans les concentrations en caroténoïdes a été observée dans les filets de truite.

Conclusion

L'utilisation de l'argon en atmosphère modifiée a conduit à un effet positif sur la préservation de la qualité organoleptique des filets de truite. Comparé à l'air, l'utilisation d'un mélange de 60% Ar/40% CO_2 a permis de maintenir la couleur des filets de truite, réduire l'oxydation des lipides totaux et ralentir le développement de la flore mésophile aérobie. L'utilisation de l'argon a, ainsi, permis un allongement de leur durée de vie.

Références bibliographiques

Spencer K.C., Humphreys D.J., 2003. In: Freshness and Shelflife of Foods. Cadwallader K., Weenen H. (eds.). ACS Symposium Series, 826, American Chemical Society, p. 270-291.
Salih A.M., Smith D.M., Price J.F., Dawson L.E., 1987. Poultry Science, 66, 1483-1488.

Remerciements

Nous remercions pour leur aide technique Laurence Larroquet et le personnel de la Pisciculture Expérimentale INRA de Donzacq (Landes). Nos remerciements également à DSM, Paris (France) pour la fourniture des caroténoïdes. Une partie de ce travail a été financé par le Pôle Aquitain Agro-Alimentaire et Nutrition (P3AN) et le Conseil Régional d'Aquitaine (contrat 20040451).

TRI PRECOCE DES JAMBONS DESTRUCTURES PREVISION DES RENDEMENTS DE FABRICATION

FRENCIA J.P., PARAFITA E.

ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol – ZAC Parc Industriel des Gravanches
63039 Clermont-F^{d} cedex 2

Introduction

La production de jambon cuit (avec et sans os) représente environ 246 000 Tonnes et celle du jambon sec près de 54 500 tonnes. Il s'agit d'une production majeure pour l'ensemble de la filière porcine française.
Le développement du jambon cuit pré-tranché, dans les années 90, a mis en évidence un défaut de qualité majeur : celui des jambons dits « pommades » ou déstructurés. Ce phénomène, qui touche 4 à 20 % des jambons selon les lots, se caractérise par une très mauvaise tenue des tranches (tranches déchirées, trouées). Bien que les lésions rappellent celles des viandes PSE, leur localisation est différente. Ce défaut ne s'exprime en effet que dans la partie profonde du jambon (principalement dans le *Semi-membranosus*) rendant le diagnostic tardif (seulement après désossage et tranchage des jambons).
L'origine et les mécanismes d'apparition du phénomène sont encore très mal connus et il est donc impossible aujourd'hui pour les entreprises d'éviter ce problème dont les conséquences économiques sont loin d'être négligeables.
L'ADIV et l'IFIP ont réalisé une étude dont l'objectif était d'évaluer les performances de différentes méthodes de mesure rapides utilisables « en ligne » dans les ateliers de découpe pour faire un tri précoce des « viandes déstructurées ». L'ADIV a testé une méthode basée sur la spectroscopie de fluorescence tandis que l'IFIP a travaillé sur une méthode de spectroscopie infra rouge. L'objectif de cette étude était de remplacer les méthodes de tri actuelles (couleur, pH, etc.) par une méthode de mesure unique et précoce qui soit si possible non invasive.
Les résultats présentés ici concernent uniquement les mesures réalisées par l'ADIV en spectroscopie de fluorescence frontale.

Matériel et méthodes

Au total, 4 séries de mesures ont été réalisées dans deux entreprises. Chaque série de mesures a porté sur environ 100 jambons, soit 395 jambons au total.
Les jambons ont été prélevés directement sur la ligne de désossage. Ils ont été choisis de façon à obtenir une proportion équilibrée de jambons pour chacune des 4 classes définies dans la grille IFIP (B=Bon, M+, M-, D=déstructuré).
Les mesures spectroscopiques ont été réalisées sur les jambons désossés. Trois sites de mesure ont été retenus :
Site 1 : muscle semi membraneux face interne. Il s'agit de la zone où le défaut de déstructuration apparaît en premier lieu.
Site 2 : fessier moyen. Ce site a été choisi pour sa facilité d'accès sur le jambon avant désossage. Il pourrait être utilisé pour une détection précoce, à réception, du défaut de déstructuration.
Site 3 : muscle semi membraneux face externe. Ce site est également accessible sur les jambons avant désossage. La mesure à été faite après dégagement du muscle *Gracilis* qui recouvre le semi membraneux sur la face externe.
Sur chacun des sites, 3 mesures de spectroscopie de fluorescence ont été effectuées, soit 9 par jambon. Les 3 répétitions sur un même site ont été faites en décalant le capteur de quelques centimètres sur le site de mesure considéré. Au total, 3546 spectres ont été enregistrés sur 395 jambons.

Résultats et discussion

Les données spectrales ont été traitées par PCR (Principal Component Regression). La figure 1 montre le modèle de régression obtenu sur 12 composantes principales entre la classe de déstructuration (B, M+, M-, D) et les mesures de spectroscopie de fluorescence (*R=0.75*). La figure 2 montre le modèle de régression obtenu sur 10 composantes principales entre la spectroscopie et le rendement de cuisson des jambons (*R=0.82).* Les figures de gauche montrent l'évolution du pourcentage de variance expliquée en fonction du nombre composantes retenues et les figures de droite montrent la corrélation entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs mesurées.

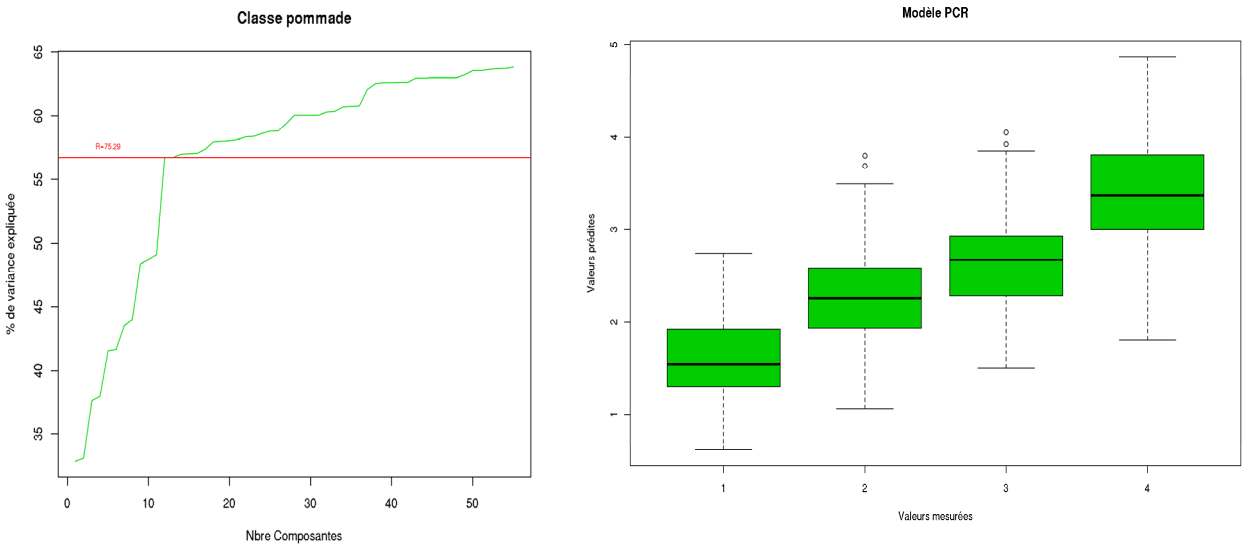


Figure 1 : PCR entre les mesures de spectroscopie et la grille d'évaluation de la déstructuration (1=B, 4=D)

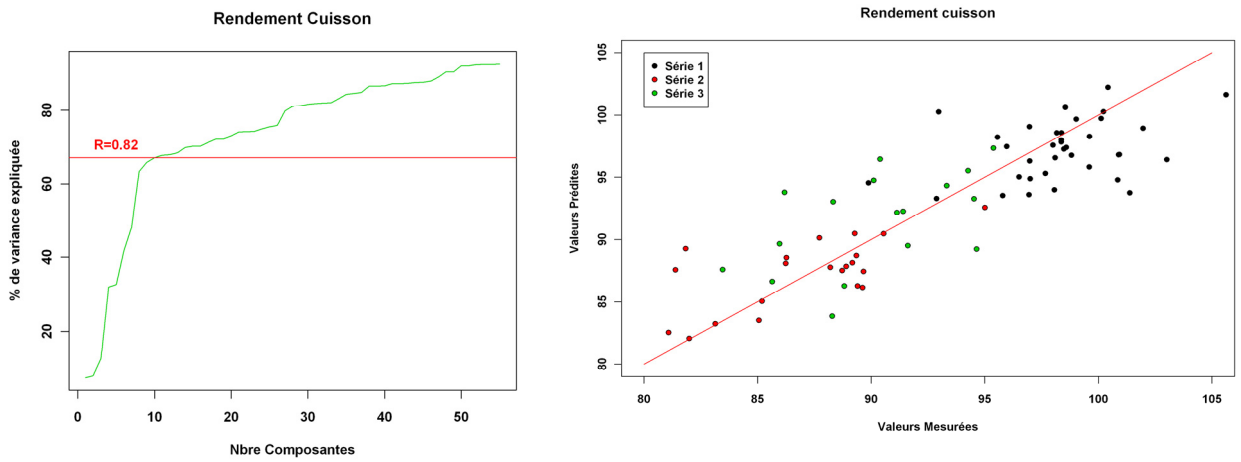


Figure 2 : PCR entre les mesures de spectroscopie et le rendement de cuisson

Conclusion

La spectroscopie de fluorescence frontale donne de meilleurs résultats que les méthodes classiques (pH, couleur) pour estimer la déstructuration des jambons et les rendements de cuisson. Toutefois, les résultats exposés ci-dessus ont été obtenus sur la face interne du Semi membraneux qui n'est accessible qu'après désossage des jambons ou avec une sonde de pénétration. Les résultats obtenus sur les autres sites de mesure (fessier, face externe du Semi membraneux) ne permettent pas une estimation fiable du degré de déstructuration et des rendements de cuisson. Il est donc nécessaire de développer une sonde de pénétration pour faire des mesures à réception dans l'atelier de découpe ou éventuellement à l'abattoir.

Références bibliographiques

Bouffaud M., Desautes-Sawadogo C., Tribout T., Boulard J., Lagant H., Coudurier B., Sellier P., 2002. 34èmes Journées de la Recherche Porcine, Paris, 34, 1-6.
Franck M., Bénard G., Fernandez X., Barbry S., Durand P., Lagant H., Monin G., Legault C., 1999. 31èmes Journées de la Recherche Porcine, Paris, 31, 331-338.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un financement France AgriMer. Nous remercions également la société Madrange à Limoges et la Société Jean Caby à Lampaul Guimiliau pour leur collaboration active dans la réalisation de ce programme.

PREDICTION DE PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DE PRODUITS CARNES APPROCHE THERMODYNAMIQUE

LEBERT A.[1], DAUDIN J.-D.[1], DUSSAP C.G.[2]

[1]INRA, UR QUaPA, Centre de Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle
[2]Université Blaise Pascal, LGCB, 24 avenue des Landais, 63174 Aubière cedex

Introduction

L'activité de l'eau (a_w) et le pH sont, avec la température, les principales propriétés physico-chimiques utilisées en biotechnologie et dans l'industrie alimentaire pour caractériser aussi bien le comportement des micro-organismes que l'évolution des réactions (bio)chimiques en milieu aqueux. Or, par exemple, l'ajout de sel, même en faible quantité, modifie les équilibres chimiques dans la solution et en conséquence le pH et l'a_w comme l'indique la loi de Gibbs-Duhem (Prausnitz et al., 1999)
Des modèles basés sur la thermodynamique moléculaire, prenant en compte la non-idéalité des solutions contenant de nombreux solutés, permettent de calculer les activités, le pH et les concentrations des différentes espèces chimiques présentes en solution. Ces modèles visent à répondre aux attentes des ingénieurs de l'industrie alimentaires et des équipementiers. En effet, si de nombreuses données sur les propriétés d'équilibres des matériaux ou solutions sont nécessaires pour décrire leur transformation en aliments ou pour formuler de nouveaux aliments ayant des propriétés définies, la littérature scientifique n'en fournit qu'un faible nombre.
Le but de ce travail était d'adapter un de ces modèles à des milieux alimentaires à base de gélatine.

Matériels et Méthodes

Le modèle utilisé (Achard et al., 1984 ; Catté et al., 1985 ; Lebert et al., 2005) pour la prédiction des activités chimiques est basé sur le concept de groupes fonctionnels. Ce concept de contribution de groupes part du principe qu'il existe des centaines de milliers de constituants chimiques d'intérêt en technologie chimique mais que le nombre de groupes fonctionnels les composant est beaucoup plus restreint. Il décrit les différentes interactions qui existent entre les différentes espèces présentes en solution :
- les interactions de courte portée résultant des forces de dispersion (force de Van der Waals) et des différences de taille et de forme entre les molécules.
- les interactions de nature chimique (interactions de courte portée) proviennent des propriétés chimiques de groupes présents dans les molécules. Ces propriétés sont de deux sortes : elles résultent de phénomènes d'association avec l'établissement de liaisons hydrogène entre les groupements polaires (OH, SH, NH) quand la distance de séparation entre les molécules est modérée et de phénomènes de solvatation.
- les interactions de nature électrostatique (interactions de longue portée) sont dues aux charges électriques des espèces ioniques après dissociation des électrolytes. Ces interactions se produisent quelle que soit la distance séparant les deux particules chargées.
Les forces de longue portée dominent pour des solutions d'électrolytes diluées. Les forces de courtes portées deviennent importantes à des concentrations fortes en électrolytes ou en non électrolytes, ce qui donne des solutions fortement non idéales car alors les trois sortes d'interaction interviennent.

Le modèle développé est constitué de trois composantes. D'abord, le modèle UNIFAC (Larsen et al., 1987) est utilisé pour prédire les activités des composés non-électrolytiques. Il est complété par le modèle de Pitzer (Pitzer et al., 1973) pour calculer les activités d'un mélange d'électrolytes. Enfin, d'un point de vue structural, la mise en solution d'un soluté dans l'eau provoque des modifications des propriétés du soluté et de l'eau : les ions se solvatent en s'entourant de molécules d'eau. Ne nécessitant pas l'ajustement de paramètres complémentaires, le modèle complet est totalement prédictif.

Résultats et Discussion

Dans un premier temps, il a été nécessaire de mesurer les variations de volume que l'on peut observer lors de mélanges eau + solutés et d'en tenir compte dans le modèle : ainsi, une variation de 15% du volume est observé pour des mélanges eau + gélatine + NaCl. Pour étendre ce modèle à des milieux alimentaires gélifiés ou solides éventuellement peu hydratés, il existe trois possibilités : /1/ décrire de façon exhaustive la composition ce qui est impossible dans le cas d'un milieu tel que la viande, /2/ approximer ce milieu par un petit nombre de molécules, ayant ensemble le même comportement que le milieu initial et /3/ approximer ce milieu par une molécule, molécule ayant le même comportement que le milieu initial. C'est cette dernière solution qui a donné les meilleurs résultats. A partir de la courbe de titration d'une solution de gélatine à 20 g/l, les principales caractéristiques d'une pseudo-molécule ont été déterminées : masse molaire équivalente : 2 550 Da, six pKa : 1,2 – 3,0 – 3,9 – 8,4 – 10,6 et 11,6. Cette pseudo-

molécule permet de prédire correctement les courbes de titration (figures 1 et 2) et les courbes de sorption (figure 3) de la gélatine, en présence ou non de différents additifs : sels (NaCl et KCl), acides organiques (acide acétique, acide citrique, acide lactique, acide sorbique et acide ascorbique) et sels d'acides organiques (acétate, citrate, lactate, sorbate et ascorbate de sodium ou de potassium). Le choix des additifs qui sont utilisés dans cette opération s'explique par l'application de ce travail au marinage des viandes. Les écarts entre courbes expérimentales et prédites sont en moyenne inférieurs à 0,2 unité pH et 0,01 unité d'a_w.

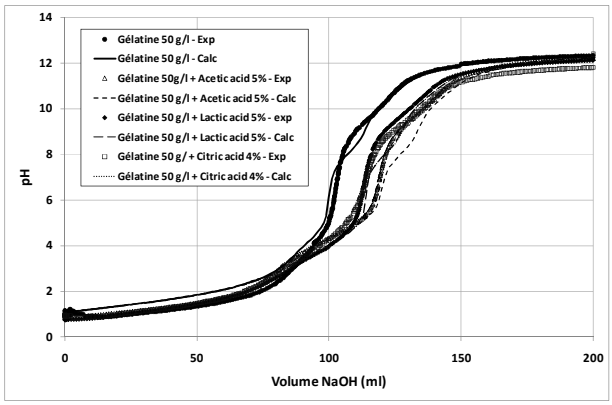


Figure 1 : Courbes de titration d'une solution de gélatine à 50 g/l en présence d'acide acétique, lactique et citrique

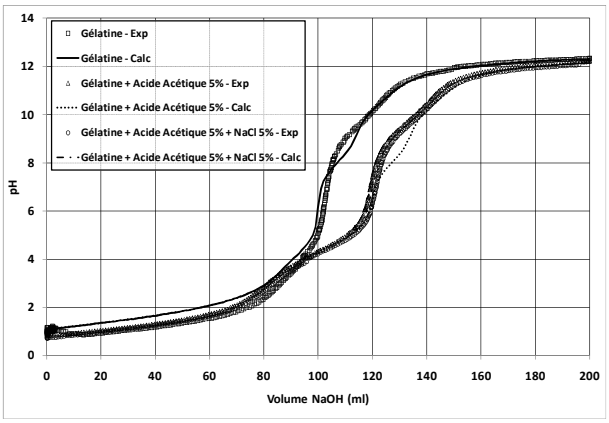


Figure 2 : Courbes de titration d'une solution de gélatine à 50 g/l en présence d'acide acétique et de sel

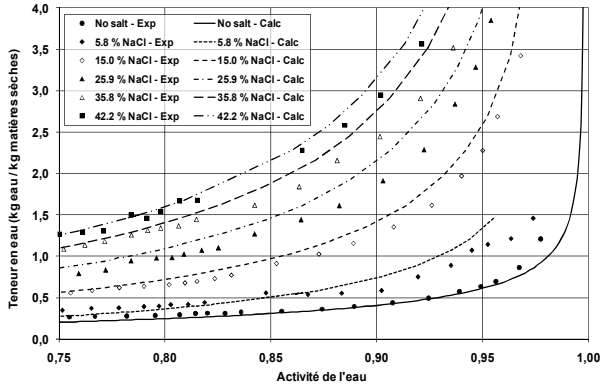


Figure 3 : Courbes de sorption d'un gel de gélatine en présence de quantités croissantes de NaCl

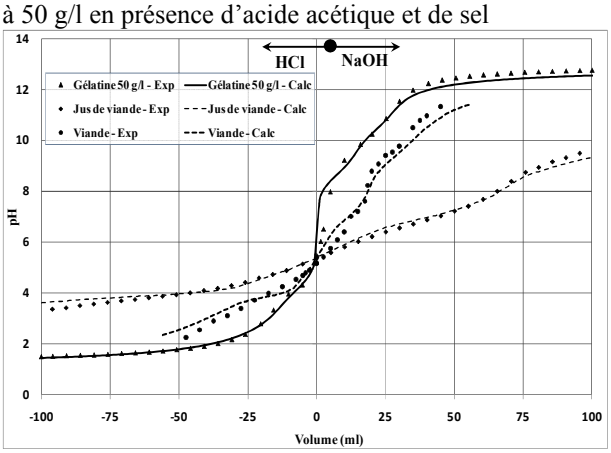


Figure 4 : Courbes de titration d'une solution de gélatine à 50 g/l, de jus de viande de bœuf et de viande de boeuf

Conclusion et Perspectives

L'extension de ce modèle à la prédiction des courbes de sorption et de titration de viande de bœuf et de porc crues et cuites est en cours de réalisation. Les premiers résultats (figure 4) montrent un bon accord dans le cas de la courbe de titration du jus de viande de bœuf et de la viande de bœuf.

Références bibliographiques

Achard C., Dussap C.G., Gros J.B., 1994. AIChE Journal, 40, 1210–1222.
Catté M., Dussap C.G., Gros J.B., 1995. Fluid Phase Equilibria, 105, 1–25.
Larsen B.L., Rasmussen P., Fredenslund A., 1987. Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2274–2286.
Lebert I., Dussap C.G., Lebert A., 2005. Int. J. of Food Microbiology, 2005, 102, 305-322.
Pitzer K. S., 1973, J. of Physical Chemistry, 77, 268–277.
Prausnitz J.M., Lichtenthaler R.N., de Azevedo E.M., 1999. Molecular thermodynamics of fluid-phase equilibria, 3rd edition. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey

Remerciements

Ces travaux ont été menés dans le cadre du programme européen ProSafeBeef

LE CHITOSANE : UN NOUVEL ANTIMICROBIEN/ANTIOXYDANT POUR LES PRODUITS CARNES

SAUNIER C.[1], RIVOLLIER M.[1], MICHAUD P.[2], CHRISTIEANS S.[1]

[1]ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol – ZAC Parc Industriel des Gravanches – 63039 Clermont-F[d] Cedex 2
[2]LGCB, Clermont Université, UBP, BP 206, 63174 Aubière cedex

Introduction

Le chitosane est un polysaccharide non toxique, biocompatible, bioactif et surtout biodégradable, provenant de la désacétylation de la chitine. La chitine est un constituant très répandu dans le milieu naturel et est d'ailleurs considéré comme le polysaccharide le plus abondant après la cellulose. Elle représente le constituant essentiel du squelette externe des crustacés, scorpions, insectes, et de l'endosquelette des céphalopodes. Elle se trouve également dans la paroi des champignons et de certaines algues. Actuellement, la production de chitine se fait essentiellement par traitement chimique ou enzymatique des carapaces de crevettes et de plumes de calamars. Généralement, lorsque le degré de désacétylation de la chitine dépasse 50%, ce polysaccharide prend alors le nom de chitosane. Hydrosoluble dans les solutions acides, ce polymère cationique a la capacité de chélater des composés anioniques. Les applications actuelles sont très larges puisqu'il est utilisé aussi bien pour le traitement de dépollution des eaux, en cosmétique et en nutraceutique. Dans ce dernier cas, le chitosane est distribué sous forme de gélules pour ses propriétés amincissantes par piégeage des acides gras. Cependant, au niveau européen, il n'est pas encore autorisé en alimentation humaine.

Outre ces applications variées, le chitosane intéresse de plus en plus les industries alimentaires pour ses propriétés antimicrobiennes, incluant des espèces bactériennes et fongiques. L'utilisation du chitosane comme antimicrobien, notamment dans la filière viande, peut également se justifier par son pouvoir antioxydant plus récemment identifié. La viande est en effet une matrice alimentaire très sensible aux phénomènes d'oxydation.
C'est dans ce contexte qu'une étude a été menée sur de la viande hachée bovine afin d'évaluer les propriétés antimicrobiennes et antioxydantes du chitosane en matrice carnée.

Matériel et méthodes

Le chitosane utilisé pour l'étude a été extrait de crustacés [Sigma Aldrich – Degré de Désacétylation (DD) 75-85%]. Il a été solubilisé dans une solution acidifiée (2% d'acide acétique) à une concentration de 9%, le but étant d'aboutir à une concentration finale dans la viande de 2%. Ce taux est volontairement supérieur aux données de la littérature (1% maximum) afin de valider ou non les potentialités du chitosane dans la viande hachée. Le chitosane et la viande hachée ont été mélangés afin d'obtenir une mêlée la plus homogène possible (figure 1). Ensuite, les steaks ont été formés et conditionnés individuellement sous atmosphère protectrice (30%CO_2 et 70%O_2) puis conservés à 4°C pendant 7 jours correspondant à la DLC appliquée (Date Limite de Consommation). En parallèle, des steaks hachés témoins, sans chitosane, ont également été fabriqués. Des analyses microbiologiques et physico-chimiques ont été réalisées à trois temps différents: J_0, $J_{1/2DLC}$ (3/4 jours), J_{DLC} (7 jours). Un dénombrement de la flore naturelle de la viande a été effectué en ciblant la flore totale, la flore lactique, et les genres *Pseudomonas* et *Brochothrix*, responsables d'altération. Pour étudier l'effet antioxydant, un dosage des carbonyles et des thiols a été réalisé. A titre informatif, la formation de carbonyles, tout comme l'oxydation des thiols (formation de ponts disulfure) sont synonymes d'oxydation des myofibrilles. L'oxydation lipidique a quant à elle été évaluée par le dosage des TBARS, molécules résultant de la dégradation oxydative des acides gras polyinsaturés.

Figure 1 : Préparation de la mêlée "viande hachée bovine + chitosane"

Propriétés antibactériennes

Concernant l'évaluation du potentiel antimicrobien du chitosane, une réduction pour l'ensemble des flores recherchées (flore totale, flore lactique, *Pseudomonas*, *Brochothrix*) a été obtenue dès J_0 entre la viande témoin et la viande additionnée de chitosane; cette baisse s'est d'ailleurs confirmée et accentuée au cours de la conservation pour atteindre 3 voire 4 log_{10} UFC/g au bout de 7 jours (figure 2). Cette différence est d'autant plus significative qu'au bout de 7 jours, ces populations n'ont plus été détectées. Cet effet bactéricide a été observable dès J_0 pour *Brochothrix*, mettant ainsi en avant un pouvoir antibactérien quasi-instantané du chitosane à l'égard de cette bactérie.

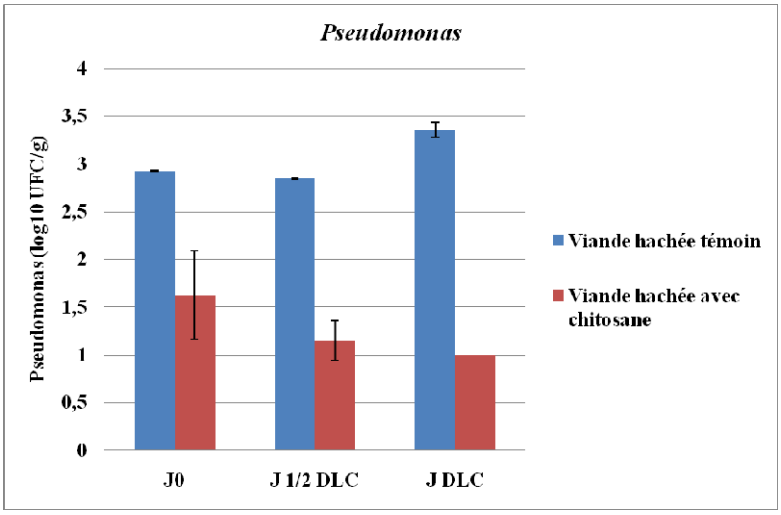


Figure 1 : Dénombrement de *Pseudomonas* dans les steaks hachés pendant les 7 jours de conservation

Propriétés antioxydantes

Les résultats obtenus soulignent une activité antioxydante intéressante Au bout de 7 jours de conservation, la formation de carbonyles, synonyme d'oxydation des myofibrilles, a été est plus marquée dans la viande témoin tout comme l'oxydation des thiols Ces deux résultats concernant l'oxydation des protéines sont appuyés par l'évaluation de l'oxydation lipidique, qui a mis en évidence une oxydation moins importante pour la viande additionnée en chitosane (figure 3).

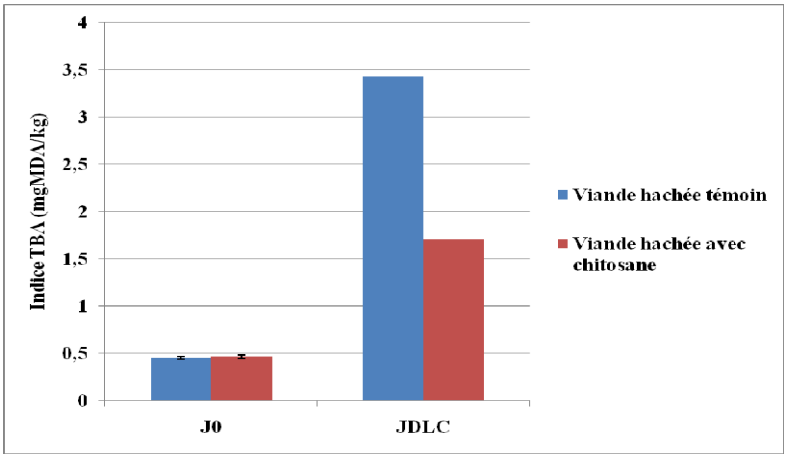


Figure 2 : Suivi de l'oxydation lipidique des steaks hachés pendant les 7 jours de conservation

Conclusions

Cette étude a permis de valider *in situ* les pouvoirs antibactériens et antioxydants du chitosane dans la viande hachée bovine. A ce stade, des études complémentaires méritent d'être menées (optimisation de la concentration en chitosane, utilisation de chitosane d'origine fongique, tests sur d'autres matrices carnées, effet envers les bactéries pathogènes), pour pouvoir d'une part, envisager une évolution de la réglementation et d'autre part développer des applications industrielles.

Remerciements
Ce programme a été financé par l'UMT 06-2 Génie alimentaire et biochimique des produits carnés.

LES OXO-BIODEGRADABLES : UNE SOLUTION POUR LE CONDITIONNEMENT DES VIANDES ET PRODUITS CARNES SOUS ATMOSPHERE MODIFIEE

[1]VIALTER S., [2]MICHON P.

[1] ADIV, 63039 Clermont-Ferrand, France.
[2]ALTERNATIVE PLASTICS, 94100 Saint Maur des Fossés, France

Introduction

De l'abattoir jusqu'au distributeur, le nombre considérable d'opérations de conditionnement et de déconditionnement fait que la filière viande et produits carnés utilise un fort volume d'emballages. Parallèlement, le développement réalisé autour de la présentation des produits carnés sous forme d'UVCI (Unité de Vente Consommateur Industrielle) ne va pas dans le sens d'une diminution des conditionnements et divers emballages. Dans un contexte environnemental de plus en plus présent et face à la « quasi indestructibilité » des plastiques conventionnels, de nombreux travaux se focalisent sur la mise au point d'emballages éco-conçus dans l'optique de minimiser l'impact carbone et environnemental. Il existe actuellement des solutions à base d'emballages biosourcés pour conditionner les produits alimentaires mais les performances environnementales (Ademe 2007) ainsi que les caractéristiques mécaniques et barrières sont dans certains cas, à ce jour, insuffisantes. Le but de ce travail est d'évaluer une technologie qui consiste en l'ajout d'un additif conduisant à la dégradation d'un polyéthylène ou polypropylène sous l'effet de phénomènes photo ou thermo oxydatifs (Chiellini et al., 2003, Jakubowicz et al., 2006), procédé appelé oxo-biodégradation (Comité Européen de Normalisation, 2005). L'additif, introduit directement dans la matière première provoque, par oxydation, la rupture des chaînes moléculaires de la matière constituant le conditionnement ou le film (Bonhomme et al., 2003). Devenues plus courtes, ces chaînes moléculaires sont digérées par les microorganismes conduisant ainsi à la biodégradation (Koutny et al., 2006, Lemaire et al., 2010). L'intérêt de cette technologie, outre la dégradabilité, réside dans le fait que les surcoûts sont limités, que la recyclabilité des emballages est conservée (étude CRIQ, PTL) et que les performances barrières sont identiques à un emballage traditionnel. L'objectif de cette étude est donc de valider une partie de ces affirmations en évaluant les performances de conservation de viandes et produits carnés conditionnés sous atmosphère modifiée avec des barquettes thermoformées et des films barrières oxo-biodégradables.

Matériel et Méthodes

Matières premières et conditionnements. 5 matrices carnées (Faux filet de bœuf tranchés FF, steaks hachés de bœuf SH, foie de génisse tranchés FG, escalopes de porc EP et filet de poulet entier FP) ont été conditionnées sous atmosphère modifiée (70% O_2 et 30% CO_2) avec 2 types de conditionnement qui diffèrent par la présence ou non dans la composition des barquettes et des films d'operculage d'un additif pro-dégradant d_2w® de la société Symphony Environmental : i) barquettes polypropylènes + film polypropylène barrière (PP vierge), ii) barquettes polypropylènes + film polypropylène barrière (PP oxo-biodégradable). Après conditionnement, les produits ont été placés dans une banque réfrigérée éclairée 12h/24h à +4°C jusqu'à la DLC des produits comme il est pratiqué dans les linéaires des GMS.
Suivi des paramètres qualitatifs. La couleur, mesurée par chromamétrie dans le repère international CIE Lab (Konica Minolta) et le poids de chaque produit ont été déterminés avant conditionnement et à la fin de la DLC, permettant ainsi d'évaluer l'évolution des paramètres qualitatifs au cours de la conservation.
Mesure de la dégradabilité des conditionnements. A DLC, des échantillons de barquettes additivées ou non oxo-biodégradables ont été placés en enceinte de photo-vieillissement accéléré (Artacc - Norme NF T 51-195-5) et en enceintes thermiques ventilées à 40°C et 60°C afin d'évaluer la dégradation des barquettes. Différents protocoles d'exposition ont été testés : UV seul, thermique seul, combinaison UV + thermique. L'état d'oxydation des barquettes a été mesuré par spectroscopie IRTF en mode transmission (spectrophotomètre Avatar 360). Ces essais de photo-vieillissement accéléré et de thermo dégradation sont représentatifs de l'évolution des barquettes qui seraient soumises aux contraintes environnementales (irradiation / température), lors de leur abandon dans la nature, en zone ensoleillée, ombragée ou en décharge aérobie.
Analyses statistiques. L'effet du conditionnement a été testé par analyse de variance sur l'ensemble des échantillons. Le seuil de significativité a été défini à 5%.

Résultats et Discussion

Même en présence de produits carnés de type découpe de porc et foie tranché où les pertes par exsudation au cours de la conservation sont significativement plus élevées, l'analyse effectuée ne montre aucune différence statistique entre les conditionnements sans additif (PP nature) et les conditionnements additivés oxo-biodégradables (PP oxo) pour chacune des 5 matrices carnées (p=0,7860) (figure 1). Les résultats obtenus lors de l'analyse de l'indice de rouge a* sont eux aussi similaires puisque la présence d'additif d_2w® dans les barquettes et les films d'operculage n'entraîne pas de modifications significatives de la composante rouge des produits testés (p=0,9033) (figure 2).

Figure 1 : Effet de la nature chimique des conditionnements (additivés ou non d_2w®) sur l'apparition d'exsudat de 5 produits carnés conditionnés sous MAP

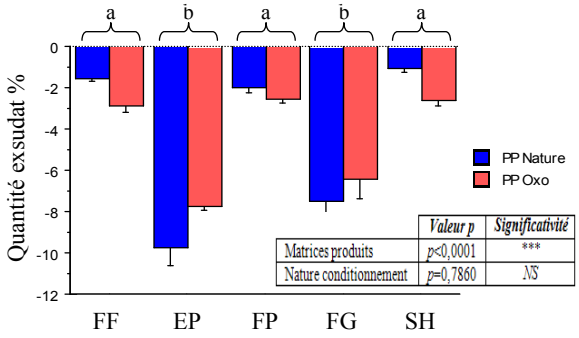
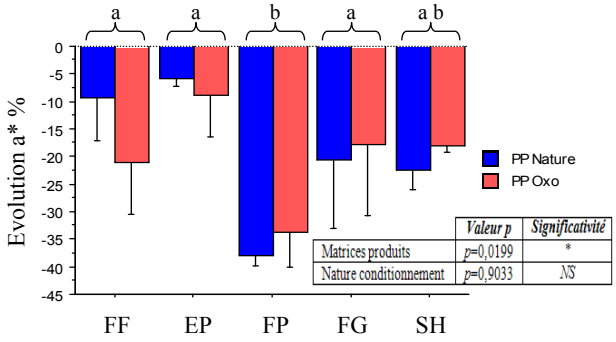
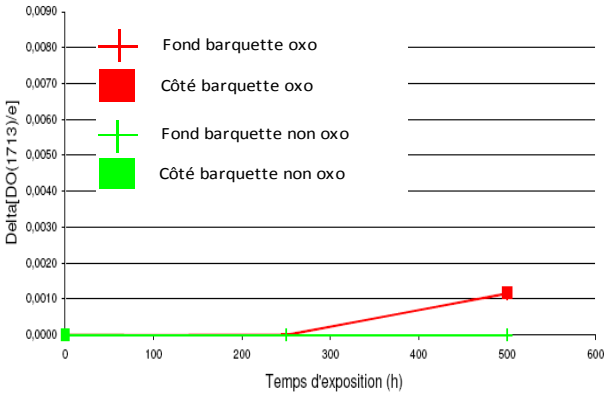


Figure 2 : Effet de la nature chimique des conditionnements (additivés ou non d_2w®) sur l'évolution de l'indice rouge a* de 5 produits carnés conditionnés sous MAP



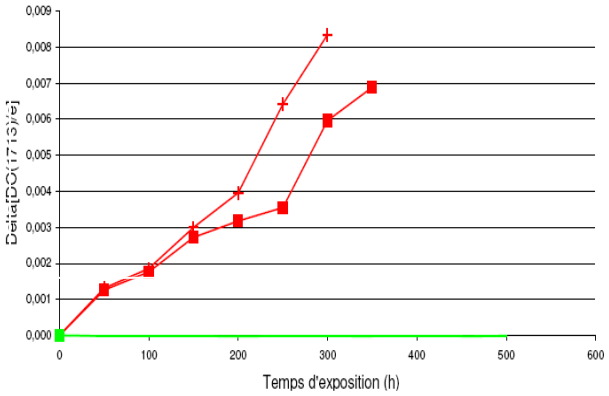
L'évaluation de l'état d'oxydation des barquettes montre qu'en absence d'UV, les barquettes additivées oxo-biodégradables ne s'oxydent pas sur une période de 250 heures en condition accélérée de vieillissement (équivalent à environ une année en conditions environnementales). Les barquettes oxo-biodégradables peuvent donc être conservées sur une longue période à l'abri de la lumière tout en conservant l'optimum de leurs propriétés technologiques (*figure 3*). En revanche, l'exposition des barquettes aux UV, suivi d'un traitement thermique à 60°C entraine une oxydation des produits mettant ainsi en évidence l'efficacité de la technologie oxo-dégradable dans la dégradation des conditionnements lorsque ceux-ci sont soumis aux contraintes environnementales (*figure 4*).

Figure 3 : Comportement de barquettes PP additivées ou non d_2w® suite à une exposition thermique à 60°C (comportement en stockage)



Etuve thermique à 60°C / Spectroscopie IRTF transmission

Figure 4 : Comportement de barquettes PP additivées ou non d_2w® suite à une exposition combinée UV / Thermique à 60°C (simulation abandon ou mise en décharge)



Etuve thermique à 60°C après 36h en Artacc / Spectroscopie IRTF transmission

Conclusions

Cette étude montre que la technologie oxo-biodégradable peut parfaitement être utilisée pour le conditionnement de produits carnés sans engendrer d'altération qualitative des produits. Ces matériaux ont été soumis aux tests d'alimentarité (SGS), de dégradabilité, de non toxicité dans les sols (OECD 208). Sur le plan environnemental, cette technologie qui conserve la recyclabilité des barquettes sur les filières traditionnelles lorsqu'elles existent, apporte aujourd'hui une réponse pertinente, sûre et bon marché (environ 10 à 20% plus onéreux qu'un emballage conventionnel) au problème environnemental lié a la présence des emballages dans l'environnement ou en décharge.

Références bibliographiques

Ademe, 2007. Synthèse d'études environnementales sur des plastiques de différentes origines (renouvelables et fossiles)
Comité Européen de Normalisation, 2005. prCEN/TR 15351:2005 CEN/TC 249
Jakubowicz I., Yarahmadi N., Petersen H., 2006. Polymer Degrad Stab, 91, 7, 1556-1562
Emo Chiellini E., Corti A., Swift G., 2003. Polymer Degrad Stab, 81, 2, 341-351
Bonhomme S., Cuer A., Delort A.M., Lemaire J., Sancelme M., Scott G., 2003. Polymer Degrad Stab, 81, 3, 441-452
Koutny M., Sancelme M., Dabin C., Pichon N., Delort A.M., Lemaire J., 2006. Polymer Degrad Stab, 91,7, 1495-1503
Fontanella S., Bonhomme S., Koutny M., Husarova L., Brusson J.M., Courdavault J.P., Pitteri S., Samuel G., Pichon G., Lemaire J., Delort A.M., 2010. Polymer Degrad Stab, 95, 6, 1011-1021.

Remerciements

Nous remercions la société Bolloré pour la fourniture des films d'operculage, la société Knauf Industries pour la fabrication des barquettes thermoformées et la société SEVN pour les tests de dégradation des barquettes et des films.

IMPACT DES PROCEDES D'ATTENDRISSAGE ET D'INJECTION SUR LES QUALITES TECHNOLOGIQUES DE LA VIANDE DE BOEUF

PARAFITA-THOMAS E., LAPENDRIE A.

ADIV, 63039 Clermont-Ferrand, France

Introduction

La tendreté est un critère essentiel dans l'appréciation des viandes par le consommateur puisqu'elle conditionne le réachat du produit (Boleman et al., 1997). Dans le cas de la viande de bœuf, la tendreté dépend de facteurs technologiques mais également de facteurs génétiques. Maîtriser les problèmes de dureté et standardiser la tendreté des muscles est donc un enjeu capital pour les professionnels.
Le marinage de la viande de bœuf représente une solution de valorisation pour les viandes de tendreté médiocre puisque cette technologie permet d'améliorer à cœur différents critères qualitatifs tels que : la jutosité, le goût et la tendreté. Dans l'industrie des viandes, le marinage est entendu comme toutes les actions et procédés mis en œuvre pour produire une viande marinée ou saumurée. Il s'agit de l'attendrissage mécanique, de l'injection, du malaxage mais aussi de l'enrobage… Chacun de ces procédés est utilisé pour une ou des fonctions spécifiques. Les technologies utilisées pour la fabrication des viandes marinées de bœuf sont souvent empruntées à la fabrication du jambon cuit et ne se révèlent pas forcément adaptées. Différents travaux ont pourtant été menés sur l'espèce bovine notamment ceux de Hayward et al. en 1980 ou bien encore ceux de Pietrasik et Shand en 2004 et 2005. Cependant les essais, souvent réalisés de façon indépendante, ne permettent pas de comparer les différentes combinaisons de procédés actuellement pratiquées par les professionnels.
L'objectif de cette étude était donc de comparer objectivement différents procédés de marinage de la viande de bœuf tout en maîtrisant l'effet lié à l'animal et l'effet potentiel lié à la position de l'échantillon dans le muscle.

Matériel et Méthodes

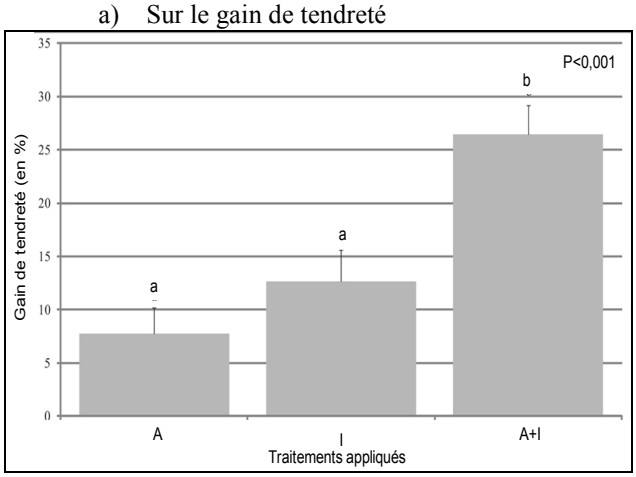
Echantillonnage. L'étude a porté sur 18 muscles Semitendinosus provenant de jeunes bovins charolais. Les carcasses étaient maturées sous vide durant 9 à 10 jours. Le pH moyen des viandes mesuré avant traitement était de 5, 64 ± 0.24. Chaque muscle était coupé en six rôtis de mêmes dimensions 4x4x10cm et d'un poids moyen de 183 ± 21g.
Traitements appliqués. Les différents traitements appliqués ont été i) l'attendrissage (A), le rôti était attendri en réalisant un passage unique sous un attendrisseur de marque Tender Star® (Paulus Stuart, Brussels) ; ii) l'injection (I), le rôti était injecté à l'aide d'une injecteuse multi-aiguilles (Inject Star®, Austria) jusqu'à 110% de son poids initial avec une saumure composée d'eau (84,9% massique), de sel (5,6%), de lactate de sodium (4%), de lactose (5%) et d'ascorbate de sodium (0,5%) et iii) le dernier traitement était une combinaison des deux procédés précédents : attendrissage suivi d'une injection (A+I).
Analyses physiques. Après traitement, un échantillon de 1x2x1cm était prélevé au cœur du rôti. Les échantillons étaient ensuite conditionnés individuellement sous vide puis cuits (durant 20 minutes) dans un bain-marie à 70°C jusqu'à obtention d'une température à cœur de 60°C, et refroidis rapidement. Le rendement de cuisson a été déterminé en calculant le rapport des poids de l'échantillon avant et après cuisson. Le rendement technologique correspond au rapport des poids avant traitement d'injection et après cuisson. La tendreté a été évaluée par le test de Warner-Bratzler selon la méthode citée par Honikel en 1998. Tous les traitements ont été appliqués avec 3 répétitions à chaque position dans le muscle et pour différents animaux afin de prendre en compte l'effet animal et l'effet lié à la position du rôti dans le muscle. Comme il existe un effet lié à l'animal, un témoin cuit mais non attendri ni mariné a été réalisé pour chaque animal. Les résultats de tendreté sont exprimés en gain de tendreté (en %) et correspondent à la différence de tendreté entre l'échantillon témoin et l'échantillon du même animal ayant reçu un traitement.
Analyses statistiques. L'effet des différents traitements de marinage a été testé par analyse de variance sur l'ensemble des échantillons. Le seuil de significativité a été défini à 5%.

Résultats et Discussion

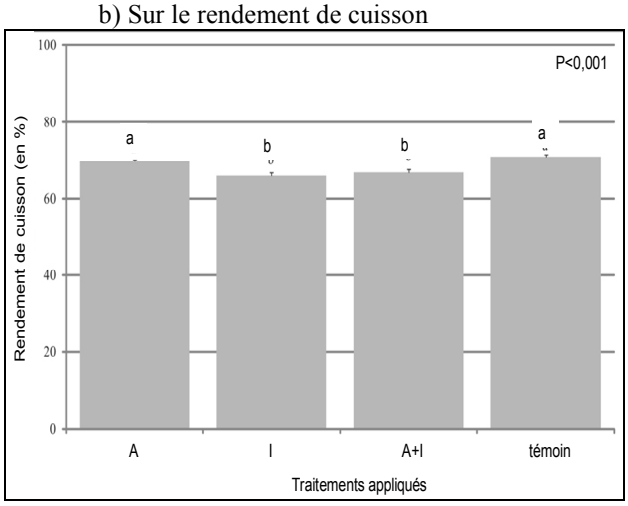
Gain de tendreté. Tous les procédés testés dans le cadre de cette étude améliorent la tendreté du muscle *Semitendinosus* cuit quel que soit l'animal. En effet, le gain de tendreté par rapport au témoin est toujours positif. Néanmoins l'association de deux procédés fournit de meilleurs résultats que l'utilisation d'un seul des deux procédés. Ainsi, l'attendrissage suivi de l'injection améliore la tendreté de la viande de bœuf (figure 1a). Certains auteurs, notamment Pietrasik et Shand en 2004, ou encore Boles et Shand en 2001 rapportent également que l'attendrissage permet de réduire la variabilité de tendreté entre les animaux.
Rendement de cuisson. Le rendement de cuisson est meilleur dans le cas du témoin et dans le cas d'un attendrissage pratiqué seul (figure 1b). Il n'y a pas de différence significative entre l'injection et l'association de l'attendrissage et de l'injection. Les pertes à la cuisson augmentent ainsi avec l'injection et l'association des deux procédés mais pas avec

l'attendrissage seul. Concernant l'effet de l'attendrissage sur le rendement de cuisson, la littérature ne permet pas de conclure puisque certains auteurs (Haymard et al., 1980) rapportent que les pertes à la cuisson augmentent avec l'attendrissage, d'autres auteurs (Savell et al., 1977) au contraire ne mesurent aucune différence.
Rendement technologique. L'étude du rendement technologique montre que le meilleur rendement est obtenu avec l'injection précédée ou non d'un attendrissage (figure 1c).

a) Sur le gain de tendreté



b) Sur le rendement de cuisson



c) Sur le rendement technologique

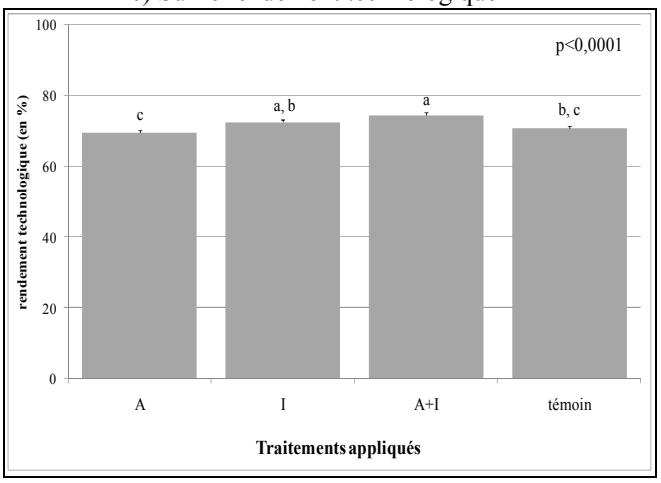


Figure 1 : Impact des traitements d'injection et d'attendrissage du muscle *Semimembranosus* de bœuf cuit

Conclusions

Cette étude montre que l'association de l'attendrissage et de l'injection permet d'améliorer la tendreté des viandes de bœuf cuites de façon significative par rapport à chacun des deux procédés utilisés seuls. L'injection avec ou sans attendrissage permet l'obtention d'un meilleur rendement technologique.

Références bibliographiques

Boleman S.J., Boleman S.L., Miller R.K., Taylor J.F., Cross H.R., Wheeler T.L., Koohmaraie M., Shackelford S.D., Miller M.F., West R.L., Johnson D.D., Savell J.W., 1997. J. Animal Sci., 75, 6, 1521-1524.
Boles J.A., Shand P.J., 2001. Meat Science, 59, 259–265.
Hayward L.H., Hunt M.C., Kastner C.L., Kropf D.H., 1980. J Food Sci., 45, 4, 925-935.
Pietrasik Z., Shand P.J., 2004. Meat Science, 66, 4, 871–879.
Pietrasik Z., Shand P.J., 2005. Meat Science, 71, 498–505.
Savell J.W., Smith G.C., Carpenter Z.L., 1977. J. Food Sci., 42, 4, 866-870.

Financement

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme européen Prosafebeef (2007-2012) financé par l'Union Européenne dans le cadre du 6ème PCRD.

CARACTERISATION *IN SITU* DE L'EVOLUTION DE LA STRUCTURE MOLECULAIRE DES PROTEINES MUSCULAIRES AU COURS DU CHAUFFAGE

VENIEN A.[1], MARINOVA P.[2], SANTE LHOUTELLIER V.[1], GATELLIER P.[1], ASTRUC T.[1]

1 : UR370 Qualité Des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

2 : Institute of Animal Science, 2230 Kostinbrod, Bulgaria

Introduction

La cuisson améliore les qualités microbiologiques et la flaveur des viandes. Le traitement thermique entraîne cependant une modification de la structure secondaire des protéines avec des répercussions négatives sur leur vitesse de digestion in situ (Santé-Lhoutellier et al., 2008).
Pour tenter d'évaluer le degré de dénaturation des molécules de myosine au cours de traitements thermiques nous avons suivi respectivement leur activité ATPasique et leur reconnaissance par des anticorps spécifiques.

Matériel et méthodes

6 échantillons calibrés de 2,3g de longissimus thoraci de porc à J+3 sont incubés pendant 10 min à 40, 50, 60, 70, 80 ou 90° C dans du tampon phosphate de sodium 40 mM pH 5,5 puis cryofixés par congélation dans l'isopentane refroidi par l'azote liquide.
Des coupes sériées transversales aux fibres musculaires de 10µm d'épaisseur sont réalisées à l'aide d'un cryostat (HM560 Microm, Germany).

Activité enzymatique
L'activité enzymatique est évaluée par histoenzymologie selon la méthode élaborée par Guth et Samaha (1969). L'activité ATPasique des cellules de type I et IIA, révélée après incubation en milieu acide, est reflétée par leur densité de coloration en microscopie optique en fond clair (microscope Olympus BX 61).

Reconnaissance Myosine/Ac anti-myosine
La réactivité des anticorps anti-myosine est mise en évidence par immunohistofluorescence. Un double marquage est réalisé par incubation des coupes pendant 1h dans un mélange d'anticorps monoclonal anti-myosine BAD5, SC71 (Schiaffino et al., 1989) ou S5 8H2 (Picard et al., 1998) respectivement spécifiques des myosines de type I , IIa IIb et I IIb et d'anticorps polyclonal de lapin anti-laminine (Sigma, France). Les anticorps primaires sont révélés à l'aide d'anticorps secondaires de chèvre anti-IgG de souris couplés à l'Alexa 488 (Invitrogen, France) et de chèvre anti-IgG de lapin couplé à la cyanine 3 (Jackson ImmunoResearch Europe). Les coupes sont observées à l'aide d'un microscope à fluorescence (Olympus BX 61) équipé des cubes Chroma Cy3 et FITC et d'une caméra numérique couleur Olympus DP 71.

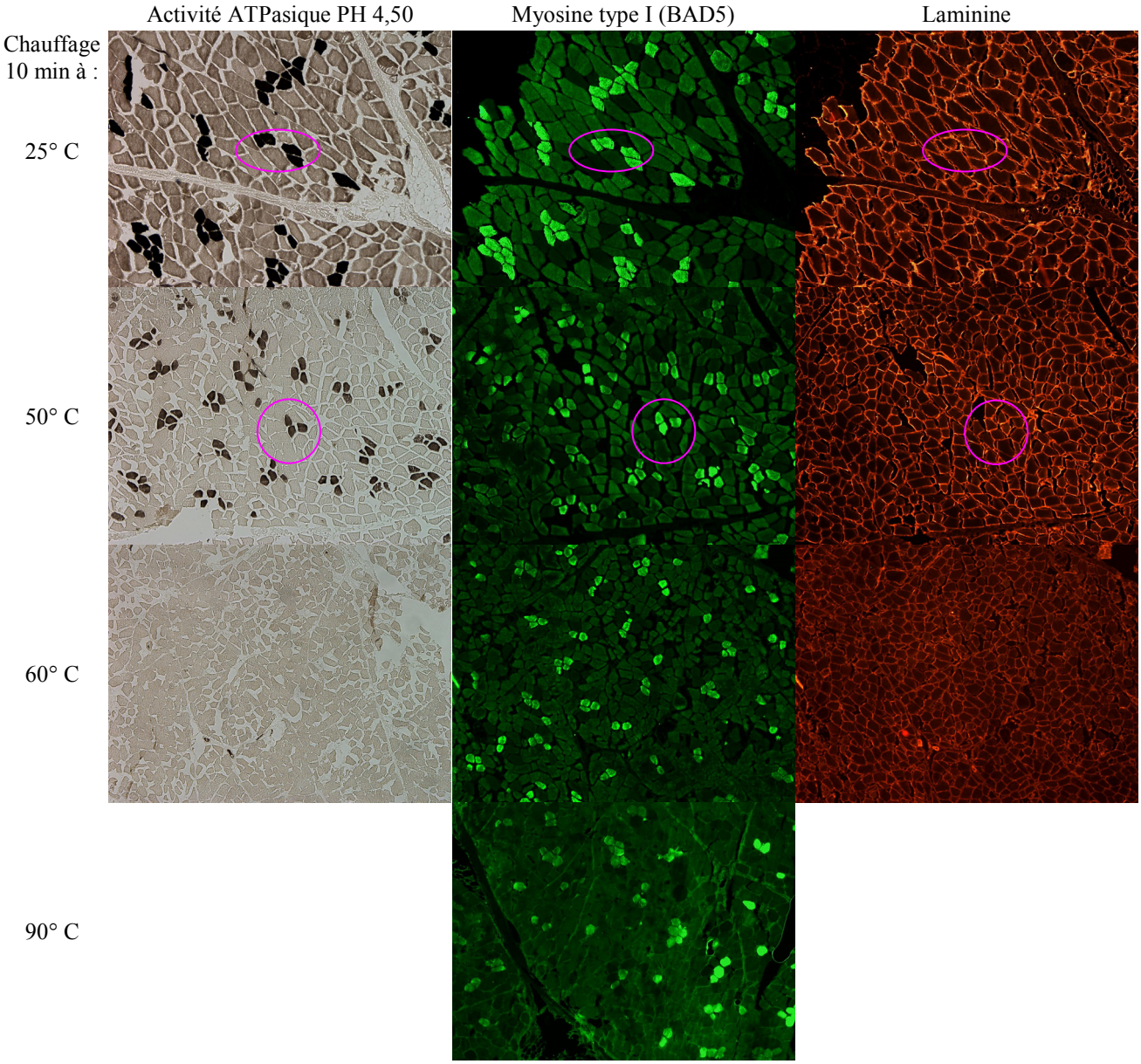
Résultats et discussion

1) Activité ATPasique des fibres musculaires.

À 3 jours post mortem, la coloration ATPase après une préincubation acide montre que l'activité enzymatique dans les fibres de type II est très faible alors qu'elle est conservée dans les fibres de type I.
Cette activité enzymatique des fibres reflétée par leur densité de coloration disparaît dès 40° C dans les fibres de type II et diminue au fur et à mesure que la température de chauffage augmente dans les fibres de type I. À 60° C, les fibres ne sont plus contrastées, ce qui indique une perte totale de l'activité ATPasique, conséquence de la dénaturation thermique des molécules de myosine (Penny et al. 1969).

2) Reconnaissance des sites antigéniques par les anticorps.

Les anticorps anti-myosine et anti-laminine reconnaissent leurs épitopes spécifiques quelle que soit la température de chauffage; toutefois pour les températures élevées, 80° et 90° C on observe l'apparition d'un marquage plus diffus en partie dû à des modifications de structure des protéines, en particulier des phénomènes de coagulation et d'agrégation, induisant l'apparition d'un bruit de fond.



Conclusions

Le chauffage entraîne des modifications sensibles de la structure secondaire des protéines musculaires avec des répercussions importantes sur l'activité enzymatique des ATPases de myosine. La reconnaissance immunologique des différentes isoformes de myosines et de la laminine est en revanche très bien maintenue pour des températures pouvant aller jusqu'à 90° C pendant au moins10 minutes.
Ces résultats sont intéressants à plusieurs titres. D'abord le fait de pouvoir typer les cellules après cuisson va permettre d'établir le lien entre le type cellulaire et le comportement des fibres au cours du chauffage. De plus couplé à l'analyse d'image, ces données pourraient permettre d'évaluer sur coupe de tissu le degré de dénaturation des protéines musculaires au cours des traitements thermiques.

Références bibliographiques

Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Greve E ., Gatellier P., 2008. J. Agric. Food Chem., 56 (4), 1488-1494

Guth L., Samaha F.J., 1969. Exp Neurol, 25, 138–152.

Schiaffino S., Gorza L., Satore S., Saggin L., Ausoni S., Vianello M., Gundersen K., Lomo T., 1989. J. Muscle Res. Cell Motil., 10, 197–205.

Picard B., Lefaucheur L., Fauconneau B., Rémignon H., Cherel Y., Barrey E., Nedelec J., 1998, INRA Prod. Anim., 11, 145-163.

Penny I.F., 1969. J. Food Technol., 4, 269-273.

INCIDENCE DU MARINAGE DE LA VIANDE DE BŒUF SUR LA CINETIQUE DE PERTE DE JUS A LA CUISSON

KHALIL D., DAUDIN J.D., KONDJOYAN A.

UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

Introduction

Le marinage et la cuisson modifient les qualités sensorielles des produits carnés (Sheard et Tali 2004 ; Tornberg 2005). Le marinage des pièces de bœuf est une façon intéressante de valoriser de nombreux muscles, situés majoritairement sur l'avant des carcasses et dont la valeur bouchère est faible.
Ce travail vise à étudier l'effet de deux caractéristiques de base des marinades : la teneur en NaCl et le pH, sur les cinétiques de perte de jus lors de la cuisson de la viande de bœuf.

Matériels et méthodes

Le principe est de traiter des échantillons de faible épaisseur (tranche de 2 mm) afin que la teneur en sel et le pH soient homogènes après marinage et que le temps de montée en température soit petit (45 s) par rapport au temps de cuisson. Les tranches ont été prélevées sur deux muscles *semimembranosus* d'un animal : Charolais, 2 ans, maturation pendant 14 jours sous vide, puis stockage en morceaux à -18°C. Une immersion dans des solutions salines et/ou acides a permis de fixer les caractéristiques des échantillons marinés : (i) pH égal à 4,4 ou à 5,4 et (ii) teneur en NaCl égale à 0 ou à 2% massique. Ces tranches étaient ensuite cuites au bain Marie pendant 2, 5, 10 ou 45 min. Quatre niveaux de température, soit 60°C, 70°C, 80°C ou 90°C ont été retenus. Le pH et les teneurs en eau et en sel étaient mesurés avant et après cuisson.
Un travail antérieur du laboratoire sur la viande non marinée (Oillic et al. 2009) a montré que l'évolution de la teneur en eau X dans des morceaux cuits peut être représentée par la relation suivante :

$$\mathbf{X = X_f + (X_0 - X_f)\ \exp(-k\ t)} \qquad \mathbf{(1)}$$

X_0 et X_f étant les teneurs en eau initiale et en fin de cuisson. Cette dernière ne dépend que de la température de cuisson. k est la constante de cette cinétique réactionnelle d'ordre 1. La relation 2 permet de prédire la perte de poids expérimentale, déterminée à partir des masses initiale m_0 et finale de l'échantillon m, par :

$$\mathbf{P = (m_0 - m) / m_0 = (X_0 - X) / (X_0 + 1) = [(X_0 - X_f) / (X_0 + 1)] \times [1 + \exp(-k\ t)]} \qquad \mathbf{(2)}$$

La pertinence de cette relation a été testée dans le cas des échantillons marinés en utilisant la valeur expérimentale de X_0 et en ajustant le couple (X_f, k) pour chaque condition (marinage, température de cuisson) en minimisant la somme des carrés des écarts entre les valeurs calculées et mesurées.

Résultats et discussion

L'immersion conduit à une prise en eau qui dépend de la nature de la solution. Dans le cas (NaCl = 0 % et pH = 4,4) la teneur en eau de l'échantillon cru augmente fortement, d'environ 2,8 à 11 kg d'eau/kg de matière sèche en cohérence avec la théorie (Offer et Knight 1988). Cet effet est annihilé par l'augmentation de la teneur en sel à 2%. Sharedeh et al. (2010) ont interprété cela par un abaissement du point isoélectrique des protéines, dû à l'interaction de ces dernières avec les ions Na^+ et Cl^- ; l'acidification a alors pour effet de rapprocher le pH de l'échantillon du point isoélectrique en réduisant le pouvoir de rétention d'eau.

Dans tous les cas la perte de poids augmente nettement avec la température de cuisson (figures 1 et 2). Les différences relatives à la température de cuisson dépendent des conditions d'immersion. Si la perte finale à l'issue d'une cuisson à 90°C pendant 45 min est à peu près toujours d'environ 55% de la masse initiale, elle varie à basse température en fonction du pH et de la teneur en sel. Par exemple, pour un pH égal à 4,4, lors d'une cuisson à 60°C, la perte à 45 min est de 37% en présence de sel (figure 1) et de 18% dans le cas contraire (figure 2). Dans ce dernier cas le rendement total 'marinage + cuisson' est alors positif et égal à environ 200%. Ces résultats suggèrent que la modification de pouvoir de rétention d'eau par le marinage se répercute plus fortement lors d'une cuisson à basse température.

La perte de masse est très importante dès la première minute de cuisson. A cause du temps de chauffage (45 s), il n'était pas possible de faire une mesure avant 2 minutes de cuisson, ce qui exclut de détailler cette étape pourtant cruciale. Le modèle de perte à la cuisson (Eq. 2) défini au départ pour la viande non marinée a permis de prédire correctement toutes les cinétiques mesurées après immersion ; un exemple est donné sur la figure 3. Toutefois les différences entres valeurs expérimentales et calculées, comprises entre 0,5 et 4 % de perte, sont plus grandes à basse température (60°C et 70°C) qu'à haute température, car les erreurs expérimentales sont proportionnellement plus importantes lorsque les pertes de poids sont petites. k tend logiquement à augmenter avec la température (figure 4). Ceci traduit le fait que les phénomènes de déliaison et de migration d'eau sont plus rapides à haute température. La valeur de k dépend aussi du

pH et de la teneur en sel de l'échantillon. Mais ces variations restent assez faibles en regard de celles de X_f. Par exemple à pH 4,4 la valeur de X_f diminue de 7,7 à 4,39 (kg eau/kg de matière sèche) lorsque la température de cuisson augmente de 60°C.

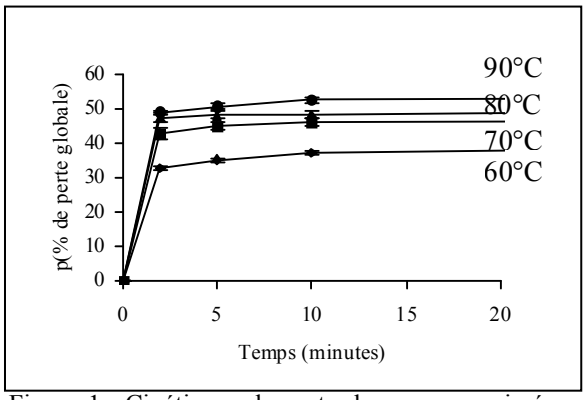


Figure 1 : Cinétiques de perte de masse exprimées en pourcentage de la masse initiale de l'échantillon et pour différentes températures de cuisson (60, 70, 80 et 90°C). *(Tranches marinées : pH 4,4, NaCl 2%).*

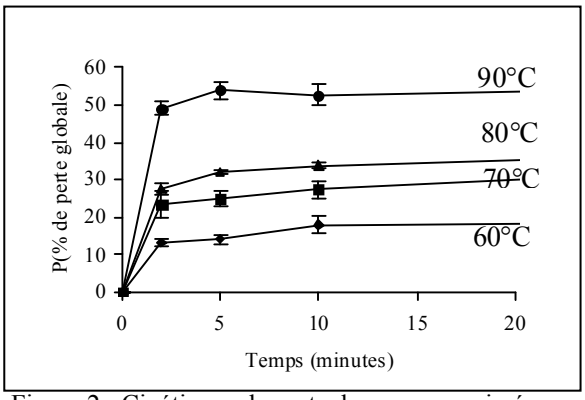


Figure 2 : Cinétiques de perte de masse exprimées en pourcentage de la masse initiale de l'échantillon et pour différentes températures de cuisson (60, 70, 80 et 90°C). *(Tranches marinées : pH 4,4, NaCl 0%)*

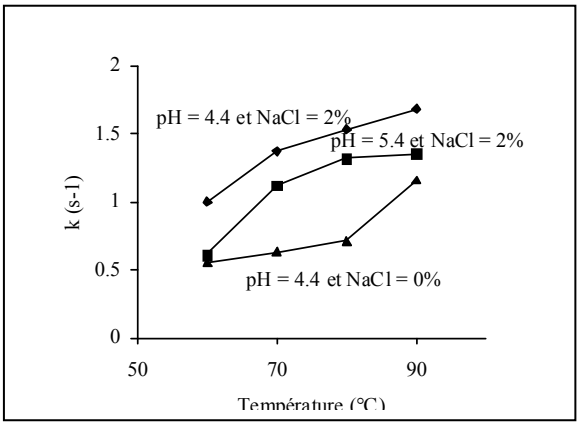


Figure 4 : Valeurs de la constante k du modèle de perte en eau (Eq. 2) en fonction de la température de cuisson et pour 3 séries d'essais effectuées avec différentes conditions d'immersion préalables.

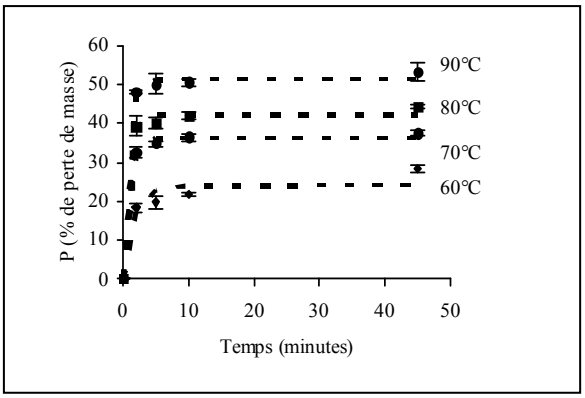


Figure 3 : Comparaison entre les pourcentages de perte de masse calculés (courbes pointillées) à différentes températures (60, 70, 80 et 90°C) à partir de l'équation (2) et les valeurs expérimentales (points). *(Tranches marinées : pH 4,4, NaCl 2%).*

Conclusion

Les pertes à la cuisson des tranches de viande sont particulièrement élevées lors des premières minutes du traitement, ce qui traduit la rapidité du phénomène de déliaison eau/protéines. La perte de poids augmente toujours nettement avec la température de cuisson tandis que les effets combinés du pH et de la teneur en sel sont plus complexes. Le modèle (Eq. 2) défini au départ pour de la viande non marinée prédit aussi correctement l'évolution des pertes de poids dans le cas de la viande marinée.

Références bibliographiques

Offer G., Knight P., 1988. Developments in Meat Science, (G. Offer et R. Lawrie, ed), (pp. 63-243). Elsevier Applied Science, London and New York.
Oillic S., Lemoine E., Portanguen S., Gros J.B., Kondjoyan A. 2009. 55th International Congress of Meat Science and Technology, 16-20 August 2009, Copenhagen, Denmark, PE.4.57.
Sharedeh D., Gatellier P., Astruc T., Peyrin F., Daudin J.D. 2010. XIIIième Journées des Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, 19-20 Octobre, Clermont-Ferrand.
Sheard P.R., Tali A., 2004. Meat Science, 68, 305-311.
Tornberg E., 2005. Meat Science, 70, 493-508.

Remerciements
Etude financée par le projet européen ProsafeBeef (I.P. 6ième Programme Cadre).

MODELISATION DU REFROIDISSEMENT DE CHARCUTERIES CUITES DE TYPE PÂTÉ

DUBLANCHET J.[1], PICGIRARD L.[2], DAUDIN J.D.[1], MIRADE P.S.[1]

[1] UR370 Unité Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle, France.
[2] ADIV, 10 Rue Jacqueline Auriol, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2, France.

Introduction

Les industriels de la salaison ne disposant pas d'éléments techniques précis pour estimer l'efficacité de leur procédure de refroidissement, l'objectif du présent projet est de définir des abaques de refroidissement pour deux familles de charcuteries cuites : le jambon cuit et le pâté de campagne. En France, il n'existe pas de référentiel spécifique à cette étape du procédé pour les charcuteries cuites. Par défaut, le critère de refroidissement des plats cuisinés, à savoir une descente de la température à cœur des produits à 10°C en 2 heures, est utilisé. Or, ce critère n'est pas envisageable sur des produits volumineux du type charcuteries cuites, à moins d'utiliser des températures négatives au risque de congeler la surface du produit. Cet article s'attache à présenter l'étape de modélisation du refroidissement d'un pâté de campagne, ainsi que sa validation par des mesures expérimentales. A partir du modèle développé, un abaque de refroidissement spécifique au pâté de campagne, donnant le temps de refroidissement pour différents régimes température/vitesse d'air, a été bâti.

Matériels et Méthodes

Expérimentations. L'ADIV a réalisé plusieurs expérimentations, en faisant varier la température de l'air de refroidissement et la vitesse de l'air. Les produits utilisés dans le cadre expérimental étaient tout à fait représentatifs de la réalité industrielle, de par leur forme et leur taille, du type de moule et de la formulation, choisis suite à une enquête réalisée auprès de professionnels. Trois types d'expérimentation ont été réalisés sur des pâtés ayant une teneur en matière grasse (MG) de 25% et 15%, correspondant aux conditions de refroidissement reportées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Conditions expérimentales de refroidissement

Température de l'air (°C)	Vitesse moyenne de l'air ($m.s^{-1}$)
T1 ≈ 1°C	Vmin = 1,2
	Vmax = 2,0
T2 ≈ -4°C	Vmax = 2,0

Trois thermocouples reliés à une centrale d'acquisition ont permis l'acquisition des cinétiques de température à des points représentatifs du produit (cœur (Tc), bord côté moule (Tb) et surface (Ts)), afin de valider précisément le modèle mathématique de simulation du refroidissement. Un quatrième thermocouple placé dans la cellule de refroidissement permettait de mesurer la température de l'air (T_{air}).

Modèles mathématique et numérique. La modélisation, réalisée à partir du logiciel Comsol v3.5a, se caractérise par une approche systémique de l'ensemble des phénomènes physiques survenant dans les processus de refroidissement des produits de charcuterie.

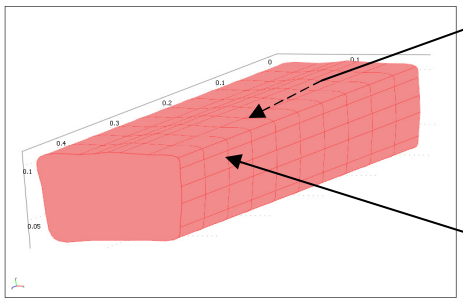


Figure 1 : Modèle numérique créé

Conditions du sous-domaine

- Température initiale (T_i)
- Conductivité thermique k, masse volumique ρ,…

Conditions limites

- Température (T_{air}) et vitesse de l'air (V_{air})
- Coefficient de transfert thermique effectif (h)

Un modèle (figure 1) a été bâti au moyen de Comsol, suite à la numérisation de la forme et des dimensions réelles d'un pâté de campagne industriel et suite à l'application de conditions de refroidissement prenant en compte les paramètres technologiques (conditions limites) et les paramètres liés au produit (sous-domaine). En résolvant l'équation $\Phi = - k \text{ grad } (T) = - h (T_{air} - T_{moy})$, le modèle développé permet d'obtenir et donc d'extraire la cinétique de température en n'importe quel point de la structure maillée.

Concernant le pâté de campagne, il existe peu d'information sur la variation de la conductivité thermique, k, en fonction de la température et du taux de MG. Cette variable a été déterminée, suite à la mesure d'un gradient de température sur un cylindre de produit disposé dans un fluxmètre, soumis à un chauffage à une température constante de 95°C. Un programme d'optimisation écrit sous Matlab et couplé à 'Comsol 3.5a', a permis d'ajuster par méthode inverse la conductivité en fonction de la température, en minimisant la somme des carrés des écarts entre température simulée et température mesurée. Une augmentation constante de k, de 0,42 à 0,53 $W.m^{-1}.K^{-1}$ et de 0,39 à 0,52 $W.m^{-1}.K^{-1}$ pour les pâtés 15% MG et 25% MG, respectivement, a été observée sur la plage 20°C-45°C. Cette variation est probablement

due à une fusion importante de la MG. Une étude de sensibilité a montré l'importance d'intégrer cette variation de k en fonction de la température du produit dans le modèle pour améliorer la précision de la prédiction.

Le coefficient de transfert thermique effectif, h, à appliquer à l'interface air-produit dépend à la fois de la forme du produit et des caractéristiques de l'écoulement (vitesse, viscosité, turbulence…). Il donne une meilleure indication sur le transfert de chaleur que la vitesse moyenne de l'air, plus difficile à mesurer. Pour évaluer h, un « pâté en aluminium » a été usiné (figure 2). Puis, une cinétique de refroidissement de ce bloc d'aluminium a été mesurée pour chaque condition expérimentale de refroidissement testée à l'ADIV (tableau 1), au moyen d'un thermocouple de type K positionné au centre du bloc. Un programme d'optimisation a permis d'identifier un coefficient h, compris entre 22 et 34 $W.m^{-2}.K^{-1}$, pour chaque condition de refroidissement.

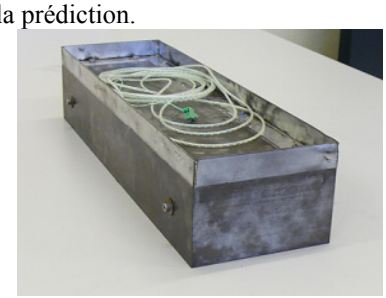


Figure 2 : « Pâté en aluminium »

Résultats et Discussion

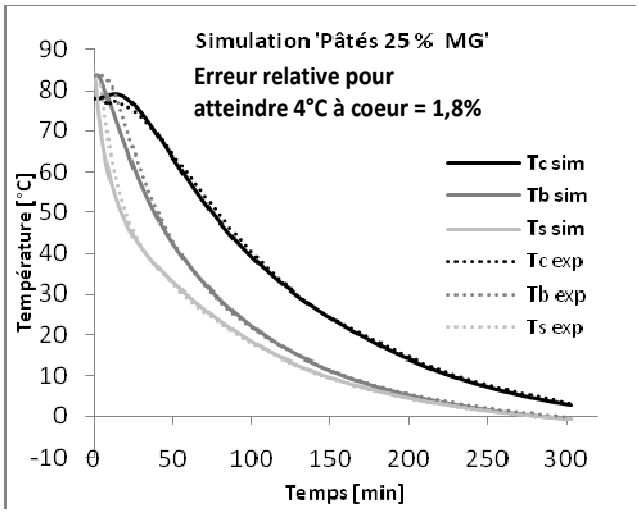


Figure 3 : Exemple de résultat de simulation représentant des cinétiques de descente en température d'un pâté

Pour la totalité des calculs effectués (taux de MG différents et conditions du tableau 1), les résultats montrent que l'erreur relative sur la prédiction des cinétiques de température entre la simulation et les résultats expérimentaux est inférieure à 2%, soit une différence de 3,8 min en moyenne, pour, par exemple, atteindre une température de 4°C à cœur du pâté (figure 3). Globalement, l'écart moyen sur la prédiction des températures sur l'ensemble des trois courbes (cœur, bord côté moule, surface) reste très faible (<1,1°C).

Ces résultats montrent aussi l'efficacité du modèle à reproduire une cinétique complète de refroidissement, sur une durée de 5 h, pour des produits à teneur en MG différentes, à condition, toutefois, de disposer au préalable de mesures précises des paramètres k et h.

A partir du modèle développé, des abaques de refroidissement ont été construits, en fonction de la température requise à cœur (10°C ou 4°C), du taux de MG (15% ou 25%), pour différentes valeurs de h et de températures de l'air (figure 4).

Conclusions et Perspectives

Les résultats du modèle montrent une précision très satisfaisante pour prédire le temps de refroidissement à cœur. La simulation permet d'apporter les éléments techniques précis sur les paramètres à maitriser. Ceci permet d'envisager de simuler des régimes de refroidissement en conditions variables pour optimiser au mieux le procédé. La vitesse d'air moyenne autour du produit étant très difficile à mesurer, le coefficient de transfert effectif apparaît comme un paramètre déterminant. Des mesures plus précises de ce coefficient en industrie, dans des zones critiques de la cellule de refroidissement, pourraient permettre d'élargir l'application pour produire des abaques personnalisés, afin de mieux maitriser les aspects qualitatifs de la procédure de refroidissement.

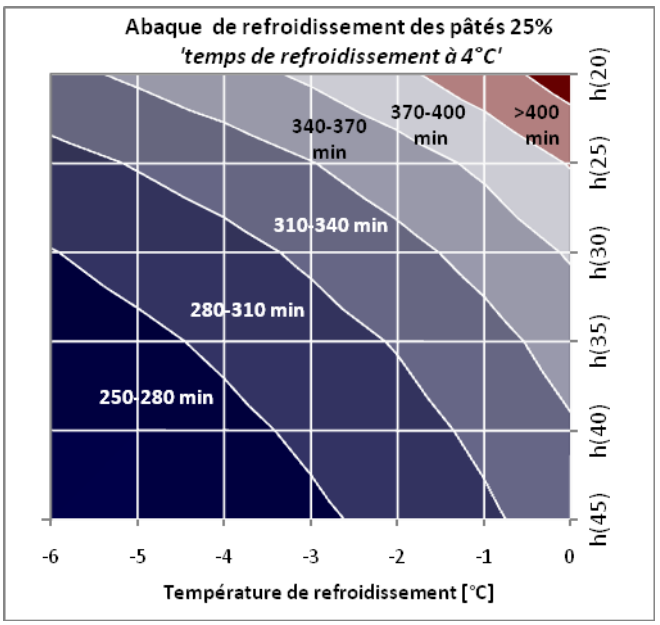


Figure 4 : Exemple d'abaque de refroidissement

Remerciements

FranceAgriMer, pour le financement de ce projet,
S. Portanguen, pour l'usinage des pâtés en aluminium.

PROPRIÉTÉS MOUSSANTES DES PROTÉINES EXTRAITES DE POUMON DE BŒUF DANS UN MILIEU COMPLEXE EN BATCH ET EN SYSTÈME CONTINU

SELMANE D., VIAL C., DJELVEH G.

Clermont Université, ENSCCF, LGCB, 24 av. des Landais, BP 206, F-63174 Aubière cedex.

Introduction

Depuis l'interdiction des farines animales, des quantités considérables d'abats viennent grossir le stock de déchets produits par la filière viande. Par ailleurs, l'incinération de ces sous-produits a un impact négatif sur l'environnement. La majorité de ces co-produits présente une teneur élevée en protéines, entre 15 et 20% (p/p). Dans un précédent travail, nous avons extrait les protéines de poumons de bœuf et nous avons comparé les propriétés moussantes de ces protéines dans un milieu modèle eau-protéines avec des ingrédients commerciaux, tels que les caséinates de sodium et les protéines de lactosérum, de blanc d'œuf et de soja. Les résultats ont montré que les protéines concentrées de poumons de bœuf (PCPB) ont un pouvoir moussant et une stabilité moussante comparables à ceux des ingrédients commerciaux de référence.
L'objectif de ce travail est d'étudier la capacité des PCPB, en qualité d'ingrédients dans un milieu complexe, à former des mousses, tout d'abord en mode discontinu en utilisant un robot ménager, puis en mode continu. Pour cette étude, nous avons choisi d'utiliser des formulations modèles proches de celles rencontrées dans les applications alimentaires réelles. En mode discontinu, nous avons étudié l'effet de la présence de polysaccharides (xanthane, guar et amidon) et d'huile sur le taux de foisonnement. En mode continu, nous avons choisi une matière première dont la composition est similaire à celle d'un produit laitier étudié précédemment (Thakur et al., 2003), dans lequel que les protéines de lait ont été remplacées par les PCPB.

Matériels et méthodes

Les protéines sont extraites du poumon de boeuf à pH 9 après décongélation en utilisant un mélangeur *Stephan* UMC5 (rapport massique poumon de bœuf/eau de 20%, température 20°C et temps d'extraction 60 min). Les protéines solubles ont été concentrées par précipitation isoélectrique à pH 4, puis lyophilisées afin d'obtenir des poudres protéiques (PCPB). Les formulations ont été préparées en dispersant les protéines et du sel dans l'eau distillée pendant une nuit sous agitation mécanique modérée (IKA-Labortechnik, RE 16) à température ambiante. Après ajustement du pH à 7, les protéines hydratées ont été mélangées avec les polysaccharides dans le mélangeur *Stephan* UMC5 à 750 tpm pendant 30 s ; ensuite, l'huile de tournesol a été ajoutée et dispersée pendant 150 s sous vide. La viscosité des formulations a été étudiée à l'aide d'un rhéomètre à contrainte imposée (SR-5 Rheometrics Scientific, USA). Les indices d'écoulement n et de consistance k ont été déterminés en supposant un modèle rhéologique de type loi puissance. L'opération en discontinu a été effectuée dans un robot ménager (Kenwood KM262) à vitesse constante (750 tpm). L'opération en continu a été réalisée dans une colonne de foisonnement en acier inoxydable constituée de trois étages de 141 mm de hauteur et de 35 mm de diamètre intérieur montés en série. La dispersion du gaz dans la phase continue est assurée par une agitation mécanique à l'aide d'un mobile constitué de trois éléments à quatre pales droites. La formulation à foisonner et le gaz sont introduits à co-courant en pied de colonne. Le débit de gaz débit est imposé à l'aide d'un débitmètre massique (Emerson Brooks, 0-100 mL/min) et celui de liquide grâce à une pompe péristaltique. Les mousses obtenues en sortie ont été caractérisées par leur taux de foisonnement Φ qui représente le rapport du volume de gaz au volume de phase continue exprimé en pourcentage. Le diamètre moyen des bulles d_{32} en sortie a été déterminé à l'aide d'un système d'analyse d'images.

Résultats

Les résultats du foisonnement en discontinu ont montré que les PCPB ont une capacité moussante importante en présence de polysaccharides. Par exemple, pour une formulation qui contient seulement 6% de PCPB et 0,25% de xanthane, le taux de foisonnement atteint 800%. Lors du foisonnement d'une formulation qui contient 6% de PCPB, 0,25% de xanthane, 0,25% de guar et 3% d'amidon, le taux de foisonnement n'atteint que 375%, mais dès que l'on ajoute 15% d'huile dans cette même formulation, Φ chute à 10%. Dans tous les cas, les mousses s'effondrent rapidement après préparation et n'ont donc qu'une très faible stabilité dans le temps.
Le foisonnement en continu a été réalisé à partir de la matière première laitière déjà étudiée en remplaçant les protéines de lait par les PCPB ; sa composition est résumée dans le tableau 1 (Fa). L'évolution de la viscosité apparente en fonction de la vitesse de cisaillement a montré que Fa a un comportement rhéofluidifiant avec un indice de consistance plus élevé (88 $Pa.s^{0,22}$ pour Fa) que celui obtenu avec les protéines de lait (75,6 $Pa.s^{0,36}$). Le foisonnement de cette formulation a montré que, quelles que soient les conditions opératoires, un phénomène de

pistonnage a toujours été observé. En conséquence, nous avons décidé de changer la composition de cette formulation en éliminant l'huile et en augmentant la teneur en PCPB à 12% (Fb, tableau 1).

Tableau 1 : Composition des deux formulations Fa et Fb.

Composition %	Fa	Fb
PCPB	6	12
Amidon	6	3
Xanthane	0,25	0,25
Guar	0,25	0,25
Huile	14,1	0
Sel	1	1
Eau	40,9	43,5
Glace	31,5	40
MS	**27,6**	**16,5**
Protéines/MS	**14,5**	**54,5**
Lipides/MS	**54,3**	**12,1**

L'étude rhéologique de cette formulation a montré un comportement rhéofluidifiant avec un indice de consistance de 31 $Pa.s^{0,30}$. Le foisonnement en continu a été effectué avec des rapports de débits gaz/liquide (G/L) de 10/20 et 20/20 (mL/min), ce qui correspond respectivement à un taux de foisonnement théorique de 50% et de 100% en régime permanent. La vitesse d'agitation N a varié entre 800 et 1200 tpm. Les résultats sont résumés dans le tableau 2. On constate que Φ augmente avec la vitesse d'agitation et atteint la valeur théorique de 50% ou de 100% en augmentant la vitesse d'agitation ; les diamètres moyens sont alors très proches dans les deux cas (respectivement 120 et 130 µm). On notera cependant qu'une vitesse d'agitation plus élevée est requise pour atteindre le taux de foisonnement maximal lorsque le débit de gaz est augmenté.

Tableau 2 : Évolutions de Φ et d_{32} en fonction des conditions opératoires pour la formulation Fb.

G (mL/min)	L (mL/min)	N (tpm)	Φ %	d_{32} (µm)
10	20	800	40	140
10	20	1000	53	120
20	20	800	60	100
20	20	1000	77	170
20	20	1200	99	130

Conclusions

On retiendra que le foisonnement en batch avec les protéines des PCPB comme agent moussant n'est pas affecté par la présence des polysaccharides, mais qu'il est fortement réduit en présence de lipides. Malgré la viscosité élevée de ces formulations, les mousses formées en présence de polysaccharides et d'amidon s'effondrent rapidement en fonction du temps. Il a également été montré que le foisonnement en continu avec une formulation dont la composition avait été étudiée précédemment avec des protéines laitières est toujours accompagné par un phénomène de pistonnage lorsque les protéines de lait sont remplacées par les PCPB. En revanche, ce phénomène disparaît lors du foisonnement de la même formulation en l'absence d'huile. Ce résultat peut être attribué à l'effet « dépresseur de mousse » bien connu des lipides sur les mousses protéiques (Murray et al., 2007). De plus, les PCPB ont démontré une très forte affinité pour la phase grasse, ce qui rend vraisemblablement ces protéines moins disponibles pour stabiliser les interfaces eau-air en présence de matières grasses. En conséquence, on retiendra que les PCPB conservent une forte aptitude au foisonnement en l'absence d'huile et qu'ils peuvent être utilisés en présence d'huile lorsque l'objectif est d'alléger au maximum de 20% à 30% la matière première.

Références bibliographiques

Murray B.S., 2007. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 12, 7, 232–241.
Thakur R.K., Vial C., Djelveh G., 2003. Journal of Food Engineering, 60, 1, 9-20.

INTERET D'UN MALAXAGE CONTINU OU ALTERNATIF POST-INJECTION SUR LES QUALITES TECHNOLOGIQUES DE LA VIANDE DE BŒUF MARINEE

PARAFITA-THOMAS E., LAPENDRIE A.

ADIV, 63039 Clermont-Ferrand, France

Introduction

Le marinage de la viande de bœuf représente une solution de valorisation pour les viandes de tendreté inférieure puisque cette technologie permet d'améliorer à cœur différents critères qualitatifs tels que : la jutosité, le goût et la tendreté.
Dans l'industrie des viandes, le marinage est entendu comme « toutes les actions et procédés mis en œuvre pour produire une viande marinée ou saumurée ». Il s'agit de l'attendrissage mécanique, de l'injection, du malaxage mais aussi de l'enrobage… Chacun de ces procédés est utilisé pour une ou des fonctions spécifiques. Concernant le malaxage, la définition des paramètres de conduite reste relativement complexe compte tenu des éléments parfois contradictoires fournis par la littérature. Selon Pietrasik et Shand (2004) le comportement des viandes au malaxage serait également différent selon les traitements technologiques appliqués préalablement au malaxage (attendrissage, injection…). Bien que la littérature et l'expérience des équipementiers soit relativement développée dans le domaine du malaxage, il s'agit principalement de données portant sur la fabrication du jambon cuit qui ne sont pas toujours adaptées aux viandes marinées de bœuf.
L'objectif de cette étude était donc d'évaluer l'intérêt d'un malaxage alternatif ou continu pratiqué après injection sur les qualités technologiques de la viande de bœuf marinée. Ces travaux complètent ceux réalisés par l'ADIV (Parafita-Thomas et Lapendrie, 2010) concernant l'impact de l'attendrissage et de l'injection des viandes de bœuf.

Matériel et Méthodes

Echantillonnage. L'étude a porté sur 6 muscles *Semitendinosus* provenant de jeunes bovins charolais. Les carcasses étaient maturées sous vide durant 9 à 10 jours. Le pH des muscles était de 5,64 ± 0,04g. Chaque muscle était coupé en six rôtis de mêmes dimensions 4x4x10cm et d'un poids moyen de 174 ± 14g.
Traitements appliqués. Les différents traitements appliqués ont été i) l'attendrissage suivi d'une injection (AI), ii) l'attendrissage suivi d'une injection et d'un malaxage continu (AIBc) de 1h (480 rotations) ou de 2h (960 rotations), et iii) l'attendrissage suivi d'une injection et d'un malaxage intermittent (AIBi) durant 3h (480 rotations) ou durant 6h (960 rotations).
L'attendrissage des rôtis était réalisé par un passage unique sous un attendrisseur de marque Tender Star® (Paulus Stuart, Brussels). Les rôtis étaient injectés à l'aide d'une injecteuse multi-aiguilles (Inject Star®, Austria) jusqu'à 110% de leur poids initial avec une saumure composée d'eau (84,9% massique), de sel (5,6%), de lactate de sodium (4%), de lactose (5%) et d'ascorbate de sodium (0,5%). Pour le malaxage, les rôtis étaient mis en sac scellés individuellement. Des sacs de 3kg de viandes conditionnées sous vide complétaient le malaxeur pour obtenir un taux de remplissage de 60% (en poids). Le malaxage intermittent consistait à pratiquer des cycles de 5 minutes de travail suivis de 10 minutes de repos. Les temps de malaxages intermittents ont été définis pour avoir le même nombre de rotations que des malaxages continus de 1h et de 2h.
Analyses physiques. Après traitement, un échantillon de 1x2x1cm était prélevé au cœur du rôti. Les échantillons étaient ensuite conditionnés individuellement sous vide puis cuits (durant 20 minutes) dans un bain-Marie à 70°C jusqu'à obtention d'une température à cœur de 60°C et refroidis rapidement. La prise de saumure correspond au rapport des poids avant injection et après injection ou bien après malaxage lorsque celui-ci est pratiqué. Le rendement technologique correspond au rapport des poids avant traitement d'injection et après cuisson. La tendreté a été évaluée par le test de Warner-Bratzler selon la méthode décrite par Honikel en 1998. Tous les traitements ont été appliqués avec 3 répétitions à chaque position dans le muscle et pour différents animaux afin de prendre en compte l'effet animal et l'effet lié à la position du rôti dans le muscle. Comme il existe un effet lié à l'animal, un témoin cuit mais non attendri ni mariné a été réalisé pour chaque animal. Les résultats de tendreté sont exprimés en gain de tendreté (en %) et correspondent à la différence de tendreté entre l'échantillon témoin et l'échantillon du même animal ayant reçu un traitement.
Analyses statistiques. L'effet des différents traitements de marinage a été testé par analyse de variance sur l'ensemble des échantillons. Le seuil de significativité a été défini à 5%.

Résultats et Discussion

Gain de tendreté. Les procédés mettant en œuvre un malaxage continu présentent un gain de tendreté supérieur à ceux mettant en œuvre un malaxage intermittent et ce, pour un nombre de rotations équivalent (figure 1). L'augmentation du nombre de rotations n'améliore pas le gain de tendreté et ce quel que soit le type de malaxage pratiqué. Ces résultats

sont en accords avec ceux de Boles et Shand (2002). Bien que le gain de tendreté soit toujours positif quel que soit le traitement pratiqué, le procédé associant l'attendrissage et l'injection présente de meilleurs résultats. En effet, la pratique du malaxage n'induit pas d'amélioration et peut même entraîner un déficit de tendreté par rapport aux autres traitements lorsque le malaxage est intermittent (figure 1a).

Prise de saumure. Les résultats de cette étude montrent que la pratique du malaxage après attendrissage et injection entraîne des pertes de saumure qui sont d'autant plus importantes que le nombre de rotations est élevé (figure 1b). Pour un même nombre de rotations, le barattage intermittent et le barattage continu permettent une prise de saumure similaire.

Rendement technologique. Que le malaxage soit continu ou intermittent, la prise de saumure est identique pour un nombre de rotations équivalent. Cependant pour un même nombre de rotations, le malaxage intermittent améliore le rendement de cuisson et donc permet un rendement technologique supérieur au malaxage continu (figure 1c). Ceci a également été observé par Boles et Shand (2002).

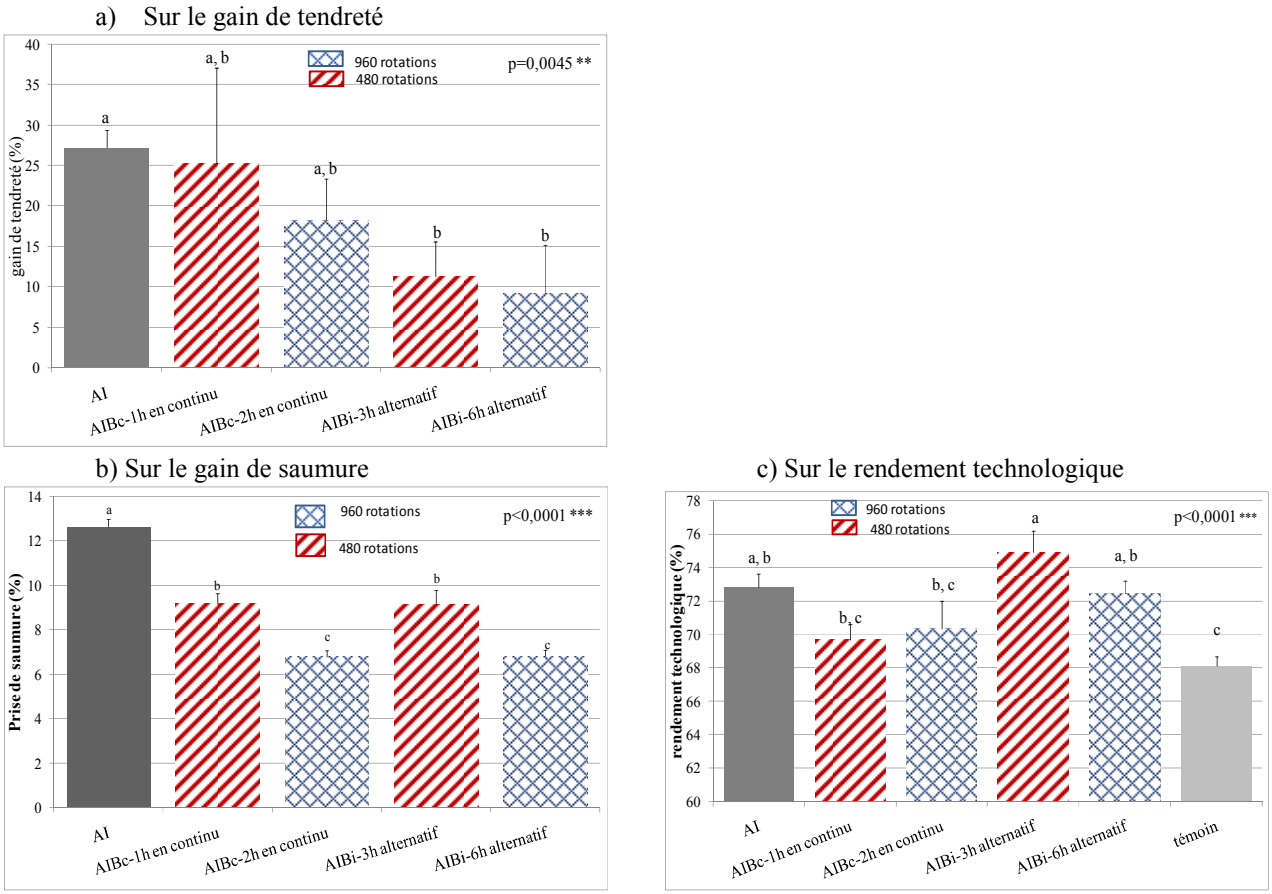


Figure 1 : Impact d'un malaxage intermittent ou continu pratiqué après attendrissage et injection du muscle *Semimembranosus* de bœuf

Conclusions

Cette étude montre que la pratique d'un malaxage continu ou intermittent post injection n'améliore pas la tendreté des produits par rapport à un procédé associant attendrissage et injection. Cependant, le malaxage intermittent permet une meilleure fixation de la saumure, ce qui se traduit par des pertes limitées lors de la cuisson et permet d'obtenir un rendement technologique supérieur. Le choix de pratiquer ou non un malaxage, continu ou intermittent, dépendra de l'importance de chacun des critères de qualité (tendreté, rendement technologique …) et donc de la nature des pièces à la vente, pièces cuites ou pièces crues.

Références

Boles J.A., Shand P.J., 2002. Journal of Muscle Science, 13, 1, 25-35.
Parafita-Thomas E., Lapendrie A., 2010. 13ème JSMTV, Clermont-Ferrand Theix.
Pietrasik Z., Shand P.J. 2004. Meat Science, 66, 4, 871–879.

Financement

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme européen Prosafebeef (2007-2012) financé par l'Union Européenne dans le cadre du 6ème PCRD.

CINETIQUE DE REFRIGERATION ET QUALITÉ DE VIANDE DE PORC: EFFETS SUR L'EXSUDAT, LA TEXTURE ET LA FREQUENCE DES JAMBONS DESTRUCTURES

VAUTIER A., GAULT E., LHOMMEAU T., LE ROUX A. MARTIN J.L., VENDEUVRE J.L.

IFIP – Institut du porc. La motte au Vicomte, BP 35104, 35561 Le Rheu Cedex, France.

Introduction

La cinétique de réfrigération de la carcasse est souvent mentionnée comme un facteur d'influence majeure sur les paramètres de qualité de la viande. Son effet sur la chute du pH pendant les premières heures *post mortem* a été mis en évidence par de nombreux travaux (Dransfield et al., 1991; Tomovič et al., 2008; Kurt et Klont, 2010), mais l'influence de la cinétique de refroidissement sur le pH ultime n'est pas aussi claire. D'autre questions subsistent également, notamment son effet sur la fréquence du défaut "jambons déstructurés". Certains facteurs de risque ont été jusqu'alors clairement identifiés (Vautier et al., 2008), mais il est possible que le procédé de refroidissement ait une influence significative sur la fréquence d'apparition du défaut, comme l'ont notamment relevé Hugenshmidt et al. (2009).

Matériels et méthodes

Deux abattoirs ont été sélectionnés: abattoir 1 (réfrigération rapide avec tunnel de réfrigération rapide) vs abattoir 2 (réfrigération lente, sans tunnel de réfrigération). 140 carcasses de porcs (mâle Piétrain) ont été triées à partir de la détermination précoce du pH ultime (Vada-Kovacs, 1985) en deux groupes pour chaque abattoir : pH bas (5,4 à 5,6) et pH élevé (5,8 à 6,0). Le pH du *Semimembranosus* a été mesuré à 30-40 minutes (pH1) puis à 24 heures (pH24) *post-mortem*. La clarté (L*) a été déterminée sur le muscle *Gluteus medius* (L*GM) après la découpe primaire, puis sur le muscle *Longissimus* (L*LT) au niveau de la dernière côte après désossage. La notation du défaut "jambon déstructuré" a été réalisée après désossage, selon la grille de notation IFIP (IFIP, 2005). L'exsudat a été déterminé par un prélèvement 24 h *post mortem* de 10 g de *Longissimus* conservé à 6°C pendant 24 heures, selon la méthode EZ (Otto et al, 2004). Pour chaque carcasse, deux échantillons de *Longissimus* ont été sélectionnés et répartis en deux traitements : 2 jours et 7 jours de maturation. Chaque échantillon a été cuit à 80°C dans un four à chaleur humide (température cible : 75 °C; Frima CM61) pour l'analyse de texture (Stable Micro Systems TA-XT Plus) : test de Warner-Bratzler (WBST2 et WBST7) et test de pénétrométrie (PEN2 et PEN7) selon les recommandations de Honikel (1998).

Résultats et discussion

La sélection précoce sur le pH ultime a permis d'obtenir des lots de carcasses présentant les mêmes niveaux de pH TritonX100 SM, de pH24LT et de pH24SM pour les deux abattoirs (tableau 1). Ces résultats, combinés avec l'absence de différence significative dans les moyennes de pH1 et un type génétique mâle unique (Piétrain), contribuent à garantir le même niveau de qualité technologique entre les deux abattoirs. Les niveaux de pH ultime (pH24LT et pH24SM) observés dans les deux abattoirs indiquent, comme signalé par Dransfield et al. (1991), Van der Wall et al. (1995) et Tomovič et al. (2008), que les cinétiques de refroidissement testées dans cette étude n'ont pas d'effet sur le pH ultime. Le défaut "jambon déstructuré" est 3 fois moins fréquent lorsque la cinétique de refroidissement est rapide que lorsqu'elle est lente (6,0% et 23,2% de classe de défaut 3+4, tableau 1). Ces résultats permettent d'identifier la cinétique de refroidissement au cours des 2 premières heures post mortem comme un facteur de risque critique dans l'apparition du défaut jambon déstructuré, comme décrit par Hugenschmidt et al. (2009).

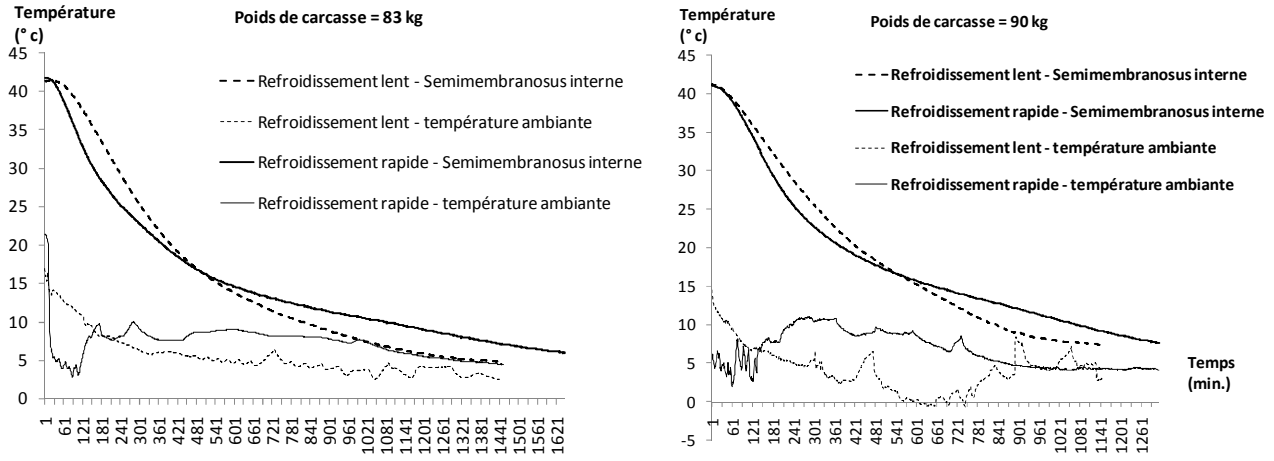


Figure 1 : chute de la température interne du Semimembranosus selon la cinétique de refroidissement (refroidissement lent vs refroidissement rapide) pour des carcasses de poids identique.

Classe de défaut n=136	Fréquence du défaut (%)		pH 1	pH 24 SM	L* GM	Poids de carcasse (kg)	Pourcentage de maigre (%)
	Refroid. lent	Refroid. rapide					
1	53,6	80,6	6,40	5,77 $_{a}$	47,0 $_{a}$	93,5	58,6
2	23,2	13,4	6,27	5,68 $_{ab}$	49,2 $_{b}$	96,6	60,0
3	14,5	6,0	6,38	5,54 $_{b}$	50,5 $_{b}$	96,3	60,3
4	8,7	0,0	6,53	5,48 $_{b}$	50,0 $_{ab}$	93,0	60,3
P =	0,0023		0,0266	< 0,0001	0,0004	ns	0,0535

Tableau 1 : résultats de qualité de viande (jambons) et caractéristiques de la carcasse par classe de défaut « jambon déstructuré ».

La cinétique de réfrigération n'a pas d'influence significative sur la clarté (L*) des muscles *Longissimus* et *Gluteus Medius* (L*GM et L*LT), comme décrit par Van der Wall et al. (1995) et Tomovič et al. (2008). L'exsudat est moins important lorsque la cinétique de refroidissement est plus rapide (3,02% et 3,81%, refroidissement rapide et refroidissement lent respectivement, P=0,02 ; tableau 2). Ces résultats sont en accord avec les précédentes études portant sur la cinétique de réfrigération : Van der Wall et al. (1995), Sammel et al. (2002), Hambrecht et al. (2003), Tomovič et al. (2008) et Kurt et Klont (2010). Le test de Warner-Bratzler révèle une différence significative de texture. Après 2 jours de maturation, la force de cisaillement est plus élevée pour les échantillons de viande issue de la réfrigération rapide que pour la viande issue de la réfrigération lente (23,1N/cm^2 et 19,1N/cm^2 respectivement, P<0,0001) et cette différence n'apparait plus après 7 jours de maturation (18,3N/cm^2 et 19,4N/cm^2 respectivement, NS). Ces observations sont en accord avec les données de Rees et al. (2002) montrant une augmentation significative de la force de cisaillement lors d'une réfrigération rapide à 2 jours de maturation, mais pas à 6 jours de maturation. Il est probable que le refroidissement rapide réduise ici l'activité de protéolyse dans les premiers jours de maturation, sans produire les conditions de "*cold-shortening*" comme évoqué par Rees et al. (2002).

	Refroidissement (R)		Réfrigération lente		Réfrigération rapide		P		
n=140	lent	rapide	pH bas	pH haut	pH bas	pH haut	R	pH	R x pH
pH 1	6,37	6,37	6,40	6,34	6,39	6,36	ns	ns	ns
pH TritonX100	5,73	5,71	5,54 $_{a}$	5,91 $_{b}$	5,49 $_{a}$	5,92 $_{b}$	ns	< 0,0001	ns
pH 24	5,72	5,73	5,58 $_{a}$	5,87 $_{b}$	5,59 $_{a}$	5,86 $_{b}$	ns	< 0,0001	ns
L* GM	48,0	47,9	50,0 $_{a}$	46,0 $_{b}$	49,4 $_{a}$	46,5 $_{b}$	ns	< 0,0001	ns
L* LT	48,4	47,9	50,0 $_{a}$	46,7 $_{b}$	50,0 $_{a}$	45,8 $_{b}$	ns	< 0,0001	ns
Exsudat (%)	3,81 $_{a}$	3,02 $_{b}$	4,86 $_{x}$	2,76 $_{y}$	4,22 $_{x}$	1,81 $_{y}$	0,0249	< 0,0001	ns
WBST2 (N)	19,1 $_{a}$	23,1 $_{b}$	18,9 $_{x}$	19,4 $_{x}$	22,6 $_{y}$	23,6 $_{y}$	< 0,0001	ns	ns
WBST7 (N)	19,4	18,3	19,2	19,5	18,7	17,9	ns	ns	ns
Poids de carc. (kg)	94,7	95,1	92,6 $_{ab}$	96,8 $_{ab}$	91,4 $_{a}$	98,8 $_{b}$	ns	0,0006	ns

R: cinétique de réfrigération

Tableau 2 : résultats de qualité de la viande (jambons et longes) et caractéristiques de la carcasse selon la cinétique de refroidissement et le niveau de pH.

Conclusion

Les deux systèmes industriels de refroidissement testés dans cette expérience ont montré un écart de 4°C après 2 heures de réfrigération. Le refroidissement rapide a réduit le niveau d'exsudat (-21%) et augmenté la force de cisaillement (+21%) du muscle *Semimembranosus* cuit à 2 jours de maturation, mais n'a eu aucune influence sur la force de cisaillement après 7 jours de maturation. Ces résultats indiquent une réduction de la vitesse de maturation en cas de réfrigération rapide, mais la différence de réfrigération n'a pas été suffisante pour induire des conditions de *cold-shortening*. La cinétique de réfrigération a une forte influence sur la fréquence d'apparition du défaut "jambons déstructurés". A niveau égal de pH ultime, de pH précoce et de poids de carcasse, la fréquence du défaut est supérieure quand le refroidissement est lent. La cinétique de refroidissement et la chute du pH dans les premières heures *post mortem* pourraient être un facteur clef dans la maîtrise de la fréquence d'apparition du défaut "jambons déstructurés".

Références bibliographiques

Dransfield E., Ledwith M.J., Taylor A.A., 1991. Meat Science, 29, 129-139

Hambrecht E., Eissen J.J., Verstegen M.W.A., 2003. Meat Science, 64, 125-131

Honikel K.,1998. Meat Science, 49, 447-457

Hugenschmidt G., Hadorn R., Scheeder M., Wenk C., 2009. 55th ICoMST, Copenhagen, Denmark

IFIP. 2005. Grille de notation du défaut « déstructuré » des muscles de la cuisse de porc

Kurt E., Klont R., 2010. Fleischwirtschaft, 3-2010, 107-111

Otto G., Roehe R., Looft H., Thoelking L., Kalm E., 2004. Meat Science, 68, 401-409

Rees M.P., Trout G.R., Warner R.D., 2002. Meat Science, 61, 215-224

Sammel L.M., Hunt M.C., Kropf D.H., Hachmeister K.A., Kastner C.L., Johnson D.E., 2002. J. Food Sci., 67, 1323-1330

Tomovic M.V., Petrovic L., Dzinic N.R., 2008. Meat Science 80, 1188-1193

Vada-Kovacs M., 1985. European Meeting of Meat Research Workers, 182-185

Van der Wall P.G., Engel B., Van Beek G., Veerkamp C.H., 1995. Meat Science 40:193-202

Vautier A., Boulard J., Boussière M., Houix Y., Minvielle B., 2008). 54th ICoMST, Cape Town, South Africa.

EFFET DE L'ALIMENTATION ET DE LA CUISSON SUR LA COULEUR DE LA VIANDE DE BŒUF

PORTANGUEN S.[1], LEBERT A.[1], BAUCHART D.[2], KONDJOYAN A.[1]

[1] UR370 Unité Qualité des Produits Animaux, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle, France.
[2] UR1213 Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle, France.

Introduction

Le consommateur est sensible à la fois aux caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des viandes. La couleur de la viande crue puis cuite est une des propriétés sensorielles qui sont essentielles pour le consommateur. Le projet ANR Lipivimus (coordonné par D. Bauchart) vise à améliorer les propriétés nutritionnelles des viandes en les enrichissants en AGPIs (acide gras polyinsaturés) au travers de l'alimentation animale. Des antioxydants sont également ajoutés aux rations pour limiter les effets de la peroxydation. Cet article analyse l'effet d'un enrichissement des viandes en AGPIs sur l'évolution de la couleur au cours de traitements thermiques de durée et de température variables. Quelques traitements thermiques ont également été effectués en utilisant une viande préalablement marinée et un modèle cinétique est proposé pour décrire l'évolution des paramètres de couleur (système CIELAB).

Matériels et Méthodes

Animaux : Des bovins de race Normande, âgés de 3 à 5 ans, ont été abattus après 100 jours d'alimentation contrôlée. Quatre muscles ont servi aux expérimentations : *Longissimus thoracis* (LT), *Semi tendinosus* (ST), *Semimembranosus* (SM) et *Biceps femoris* (BF). Ces muscles ont été prélevés 24h après abattage, maturés 12 jours sous vide à 4°C puis congelés à -20°C.
Alimentation : L'alimentation des animaux était composée de trois rations différentes 1) 70% de concentré et 30% de paille ; 2) idem avec addition de lin extrudé (source d'AGPI n-3) ; 3) idem 2) avec un complément de vitamine E (250U/kg) et d'antioxydants végétaux (société Phytosynthèse).
Marinade : Seul le BF a subi une injection dans la masse (à 10%) avec une marinade de composition massique : NaCl 58,5%, acétate 20,7%, lactate de calcium 16,9%, acide ascorbique 3%. Les pièces de viande sont ensuite barattées 3h à 7tr/min.
Cuisson : Le système de cuisson utilisé (Kondjoyan 2008) permet d'effectuer des traitements sous vapeur surchauffée à 66, 98 et 205°C en surface de l'échantillon et pour des temps de 0, 10, 20, 30, 60, 120 et 300s. Les échantillons utilisés mesurent 40 mm de diamètre et 1 mm d'épaisseur afin d'obtenir un traitement thermique homogène et sont placés dans un support en PTFE® isolant. L'inertie due au chauffage est stoppée par passage sous un jet d'air comprimé à 2-3°C (tube de Ranque-Hilsch). La température de surface de l'échantillon est mesurée avec un pyromètre infra-rouge (IN 500, Impact System) et la température de vapeur est mesurée avec un thermocouple de type K (0,5 mm de diamètre) placé à 3 mm au dessus de l'échantillon.
Couleur : Les mesures de couleur ont été effectuées avec un spectrocolorimètre Konica Minolta CM 2500d (Japon) dans l'espace de couleur CIELAB (D65-10°-L*a*b*-d/8 SCE), la calibration s'effectuait à 0 dans l'air et sur le blanc avec le standard n°7009694. Même si la température est homogène dans l'échantillon, il peut apparaître des différences de tonalités chromatiques à cause d'effets de bord dus au support en PTFE® ; aussi, cinq mesures de couleur sont réalisées sur toute la surface de l'échantillon afin d'obtenir une valeur moyenne. Lors de la mesure, l'effet du fond et la transparence de l'échantillon due à son épaisseur sont contrôlés (4 mm de viande sont nécessaires pour s'affranchir de l'effet du fond). Chaque condition de traitement est répétée trois fois.
Modèle : Le modèle permet de prédire l'évolution de la couleur de la viande en fonction du barème de cuisson appliqué. Les cinétiques d'évolution de la couleur ont été normalisées par rapport à la valeur initiale du paramètre mesurée sur le cru. Le modèle se compose de deux réactions du 1er ordre ou k_1 et k_2 sont les paramètres d'ajustement du modèle.

$$A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$$

Le paramètre initial (valeur de B à t=0) est considéré comme étant égal à 1. Différentes relations mathématiques peuvent être utilisées en fonction des valeurs initiale et finale de B et de A. Deux cas ont été utilisés en fonction du fait que la valeur de B augmente ou diminue immédiatement après le début du traitement thermique Il est possible de décrire l'ensemble de ces deux cas par une seule relation mathématique, ε prenant respectivement la valeur 1 ou -1 :

$$B=\left[1-\frac{k_1}{k_2-k_1}-\varepsilon B_\infty\right]\exp(-k_2 t)+\varepsilon\frac{k_1}{k_2-k_1}\exp(-k_1 t)+B_\infty \quad (1)$$

Les valeurs de k_1, k_2 et B_∞ sont obtenues par minimisation (méthode Nelder-Mead) de la somme des carrés des écarts (SCE) entre les valeurs calculées et expérimentales. La fonction « fminsearch » de Matlab 7.0 a été utilisée pour calculer les SCE.

Résultats et Discussion

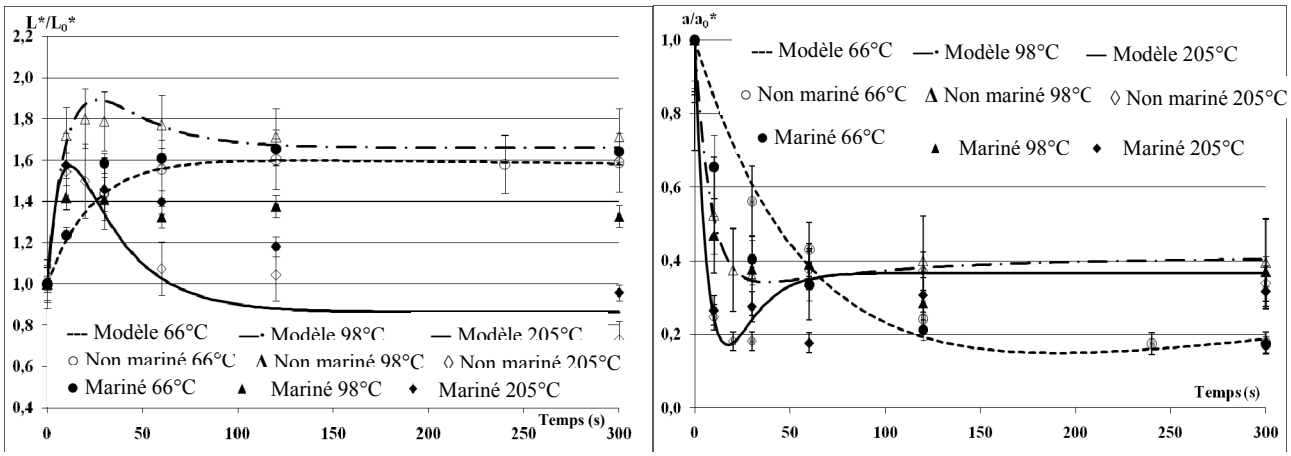
Une matrice biologique est par définition hétérogène. La présence de masses lipidiques ou, pour les viandes marinées, d'un contour extérieur plus sombre que le centre à cause de la pénétration de la marinade sont des facteurs qui doivent être pris en compte lors des mesures de couleur (mesures au centre de l'échantillon et moyenne sur 5 points). Une analyse en composante principale (ACP) (logiciel R, R Development Core Team), dans laquelle la température n'est pas considérée comme une variable, a montré que le temps de traitement était le principal facteur responsable des changements de couleur au niveau du L* (luminance) et du a* (décalage du rouge vers le vert). Ces deux paramètres sont d'ailleurs corrélés en sens inverse, quand L* augmente, a* diminue quel que soient les types de traitement, de régime ou de muscle. L'analyse statistique n'a pas montré de différences significatives entre les trois types d'animaux, de régimes ou de muscles.

Les cinétiques de L^*/L^*_0 et a^*/a^*_0 sont présentées dans les figures 1 et 2. A 66 et 98°C, l'effet maximal du traitement (augmentation de L^*/L^*_0) se produit entre 30 et 60s. Alors qu'à 205°C, il suffit de 10s pour atteindre le maximum de la valeur de L*. Les variations de L^*/L^*_0 et a^*/a^*_0 obtenues sur viande non-marinées sont décrites par la relation (1). Les différences entre les données calculées et les mesures expérimentales sont comprises dans les intervalles de confiance excepté après 120s de traitement à 205°C (noircissement très important).

Les valeurs de L^*/L^*_0 et a^*/a^*_0 sont généralement significativement différentes entre la viande cuite marinée et non-marinée. Celles-ci ne peuvent d'ailleurs pas être calculées avec le même modèle.

Le paramètre b* est irrégulier et évolue peu par rapport au L* et a*, il n'a donc pas été pris en compte dans cette étude.

Les différents stades du chauffage se traduisent visuellement par le passage de la couleur rouge, au blanc-gris, au brun puis au noir. A 66 et 98°C, les échantillons blanchissent et ne changent pas de couleur jusqu'à la fin du traitement, mise à part quelques traces brunes. Par contre, à 205°C, le blanchiment ne dure que pendant environ 10s, ensuite, des colorations brunes et noires apparaissent très rapidement. Ces changements de couleur sont connus pour être associés à des réactions biochimiques. Le blanchiment est associé à la dénaturation de la myoglobine (Lawrie 1985), le brunissement et le noircissement sont associés au premier stade (complexation des protéines et des glucides) et au dernier stade (synthèse de mélanoïdes) des réactions de Maillard. Les changements de couleur et la vitesse des réactions chimiques sont affectés par les pertes en eau lors la cuisson (Garcia-Segovia 2007).



Figures 1et 2: Evolution de la couleur pendant la cuisson (L^*/L^*_0 et a/a^*_0). Modélisation (lignes continues) et points expérimentaux.

Conclusions et Perspectives

Les deux régimes alimentaires (2 et 3) ne modifient pas la couleur la couleur de la viande cuite par rapport au régime témoin (1). Ces résultats peuvent être considérés comme positifs puisque le consommateur peut bénéficier d'un apport nutritionnel supplémentaire sans que le produit n'en soit altéré. Le procédé de cuisson à un effet prépondérant sur la couleur de la viande cuite. Le marinage affecte la couleur de la viande crue et cuite. Le modèle de couleur est en bon accord avec les points expérimentaux sauf à 205°C à cause des fortes variations d'a_w (échantillon déshydraté). L'activité de l'eau a une influence majeure pour la prédiction des variations de couleur notamment au niveau de la croûte pendant le grillage ou le rôtissage, celle-ci sera donc prochainement intégrée dans le modèle de prédiction.

Références bibliographiques

Garcia-Segovia, P., Andres-Bello, A., Martinez-Monzo, J., 2007. Journal of Food Engineering, 80, 813-821.
Kondjoyan, A., & Portanguen, S., 2008. Food Research International, 41(1), 16-30.
Lawrie, R.A., 1985. Meat Science. Pergamon Press, Oxford (4th edition). 169-173.
R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

QUALITES MICROBIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

Conférences invitées

Communications

QUELLES APPLICATIONS INDUSTRIELLES POUR LA MICROBIOLOGIE PREVISIONNELLE

ELLOUZE M

IFIP, 7, Avenue du Général de Gaulle 94704 Maisons-Alfort.

Présentation et historique

La microbiologie prévisionnelle est un outil qui permet de prévoir par des modèles mathématiques l'impact de différentes conditions environnementales de température, de pH, d'activité de l'eau (Augustin et al. 2005;Membré et al. 2005), de concentration en acides organiques et en inhibiteurs (Coll Cardenas et al. 2008) et de leurs interactions éventuelles (Augustin et al. 2005) sur la croissance, l'inactivation ou la survie des micro-organismes (Buchanan and Whiting 1996;McMeekin et al. 1993). Des modèles spécifiques ont ainsi été développés pour prévoir d'une part la croissance microbienne, et d'autre part la décroissance ou l'inactivation et ce pour les germes pathogènes (Shimoni and Labuza 2000) ou pour les germes d'altération (Koutsoumanis 2009). Historiquement, ce sont les modèles d'inactivation thermique qui ont été utilisés en premier notamment pour caractériser les barèmes de stérilisation et de pasteurisation. La microbiologie prévisionnelle de croissance s'est ensuite rapidement imposée pour prévoir l'évolution des micro-organismes depuis la fourche jusqu'à la fourchette en intégrant les différentes sources de variabilité et d'incertitude liées à la matière première, aux micro-organismes (Membré et al. 2005), aux différentes opérations unitaires du process de fabrication, au mode d'emballage et aux divers scénarii thermiques rencontrés par l'aliment jusqu'à l'assiette du consommateur.

Pour cela, la microbiologie prévisionnelle se base sur deux familles de modèles. La première famille est celle des **modèles primaires** qui permettent de simuler le comportement des micro-organismes en fonction du temps et permettent de décrire la courbe de croissance microbienne avec ses quatre paramètres : la contamination initiale N_0, le temps de latence *lag*, le taux de croissance maximal μ_{max} et la densité de population maximale N_{max} (Ross and McMeekin 2003). Les modèles primaires les plus utilisés à ce jour sont le modèle de Baranyi (Baranyi and Roberts 1994) et le modèle logistique avec délai et rupture proposé par Rosso (Rosso et al. 1995).

La seconde famille est celle des **modèles secondaires** qui permettent de simuler l'évolution des paramètres du modèle primaire (*lag*, μ_{max} ou N_{max}) en fonction des conditions environnementales abiotiques telles que la température, le pH, l'aw, ou biotiques comme la compétition entre différentes espèces microbiennes (Drosinos et al. 2006) ou encore l'état physiologique de l'inoculum. On distingue généralement deux approches. **L'approche polynomiale** permet de décrire simultanément l'effet des facteurs étudiés et a été très utilisée dans les années 90 (Buchanan and Philips 2000;Carrasco et al. 2007;Giovannini et al. 2004;Seman et al. 2002). Cependant, elle présente de nombreux inconvénients : le nombre élevé de paramètres et l'absence de signification biologique, l'impossibilité d'extrapoler les résultats en dehors de la plage expérimentale, l'impossibilité de prendre en compte la variabilité intra-espèce sur la croissance et la nécessité de mettre en place des plans expérimentaux complexes et parfois contraignants. Par opposition à l'approche polynomiale, **l'approche progressive**, consiste à étudier et à modéliser séparément l'impact de chaque facteur environnemental puis à construire à partir de ces modules simples, un modèle général complet incluant l'effet de tous les facteurs. Cette approche d'abord proposée par Zwitering et appelée gamma concept (Zwietering et al. 1992) présente de nombreux avantages : les modèles sont plus robustes, ils impliquent un nombre de paramètres relativement faible, et ces paramètres ont le plus souvent une signification biologique (Delignette-Muller et al. 1995).

Différents logiciels sont aujourd'hui disponibles pour accéder à des applications de microbiologie prévisionnelle. Sym'Previus est le logiciel français développé en collaboration entre des centres techniques de l'agroalimentaire, des écoles ou instituts de recherche publics et privés, des industriels, ainsi que le Ministère chargé de la Recherche et le Ministère de l'Agriculture. Il propose une base de données qui décrit l'évolution des micro-organismes dans différentes matrices alimentaires, et également des modules de calcul pour établir pour des conditions données (de température, de pH, d'aw…) l'évolution du micro-organisme d'intérêt dans la matrice choisie. Il existe également d'autres logiciels comme ComBase qui permet de réaliser des ajustements de modèles primaires ainsi que des simulations en utilisant des modèles polynomiaux. Néanmoins, la base de données ComBase reste assez hétérogène avec des données obtenues majoritairement en milieu de culture. Il existe également des logiciels qui ont été développés spécifiquement pour certaines catégories d'aliments comme le *Seafood spoilage and safety predictor* fourni par l'Institut Danois de Recherche sur les produits de la pêche et le *Refrigeration index* fourni par une équipe de recherche australienne et utilisé lors de l'exportation de viande Australienne.

Applications de la microbiologie prévisionnelle

L'utilisation de la microbiologie prévisionnelle s'est généralisée pour plusieurs aliments tels que les charcuteries (Drosinos et al. 2006), les poissons (Koutsoumanis 2001;Ross et al. 2000), la volaille (Dominguez and Schaffner 2007), la viande de porc (Liu et al. 2006) et les applications industrielles sont aujourd'hui nombreuses.

La microbiologie prévisionnelle peut être utilisée par exemple pour déterminer et valider les durées de vie microbiologiques en se basant sur des simulations de l'évolution des micro-organismes limitants dans l'aliment étudié (Dalgaard 1995). Elle permet également d'optimiser la formulation des recettes au regard des dangers bactériens et d'adapter le process de fabrication pour un aliment donné tout en réduisant le nombre des essais nécessaires à l'obtention du produit final. Utilisée en complément d'autres outils comme le test de croissance, la microbiologie prévisionnelle permet d'extrapoler les résultats obtenus en laboratoire à des scénarii réels de conservation de l'aliment (Koutsoumanis 2001). Dans la démarche HACCP, la microbiologie prévisionnelle peut intervenir à différentes étapes du processus. Par exemple, lors de la détermination des limites de tolérance à affecter aux points critiques, la modélisation permet d'évaluer ces limites en associant pour chaque niveau une contamination prévue en fin de durée de vie. Grâce à la microbiologie prévisionnelle, il est également possible de déterminer à l'avance les actions correctives à appliquer en cas de défaillance, telle une modification du traitement thermique par exemple. Enfin, la microbiologie prévisionnelle étant reconnue par les autorités de contrôle, il est tout à fait possible d'utiliser les résultats de simulations en tant qu'éléments de preuve pour montrer à un inspecteur que le produit est sûr (Thuault and Couvert 2009).

Exemple 1 : Optimisation de la formulation d'un produit de charcuterie : la saucisse crue

La saucisse crue est un produit de charcuterie fumé à froid et composé de viande de bœuf et de gras de porc. Dans cet exemple, la formulation permettant de produire des saucisses crues d'une durée de vie microbiologique de 16 jours est optimisée. En effet, les caractéristiques physico-chimiques (pH et aw) de cet aliment permettent la croissance de *Listeria monocytogenes*. L'aliment est donc classé en produit « sensible » de catégorie 3 selon la classification des aliments du point de vue du risque lié à la présence de *L. monocytogenes* (Saisine de l'AFSSA n°2003-SA-0362). L'inhibition de la croissance du pathogène permettrait de classer l'aliment dans la catégorie 2 et de garantir que les denrées mises sur le marché ne contiennent pas *L. monocytogenes* à un niveau supérieur au seuil réglementaire de 100 UFC/g. Pour cela, il est envisageable de modifier la formulation par l'ajout d'un inhibiteur tel que l'acide lactique. Cet ajout est autorisé par la réglementation, mais doit se limiter aux doses strictement nécessaires. Il est ainsi possible de tester plusieurs doses et de voir l'impact sur le résultat des simulations du développement de *L.* monocytogenes pour retenir la formulation la plus appropriée.

Dans cet exemple, le logiciel Sym'Previus a été utilisée pour évaluer l'impact de la variabilité des paramètres physico-chimiques de la saucisse crue sans additif sur la probabilité de croissance de *L. monocytogenes*. Une étude expérimentale a permis de calculer le pH moyen de cet aliment, estimé à 5,66 ±0,07 ainsi que l'aw moyenne, estimée à 0,954 ±0,010. La Figure 1 montre une probabilité de croissance élevée (90% en moyenne) de *L. monocytogenes* dans cette matrice.

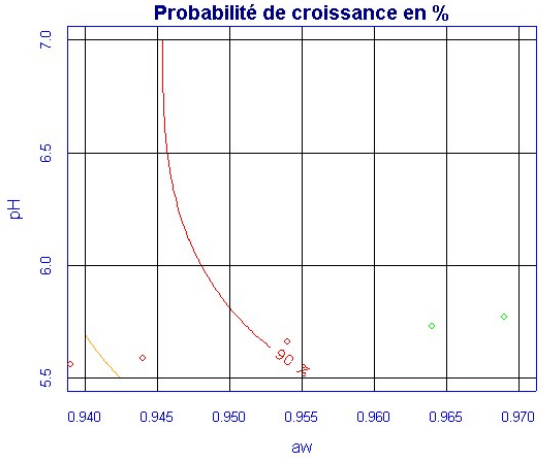


Figure 1. Probabilité de croissance (en %) de *L. monocytogenes* dans les saucisses crues en fonction de ses caractéristiques physico-chimiques. Les points représentent des mesures de pH et d'aw de saucisses crues.

Le logiciel permet également de simuler la cinétique de croissance du pathogène pour des conditions de stockage raisonnablement prévisibles : 1/3 de la DVM à 4°C et 2/3 à 8°C. La contamination initiale a été fixée à 1 bactérie /10 g. La vitesse de croissance a été déduite à partir des résultats d'un test de croissance réalisé sur ce produit et qui a permis d'estimer un taux de croissance optimal de 0,63h^{-1} ±0,04.

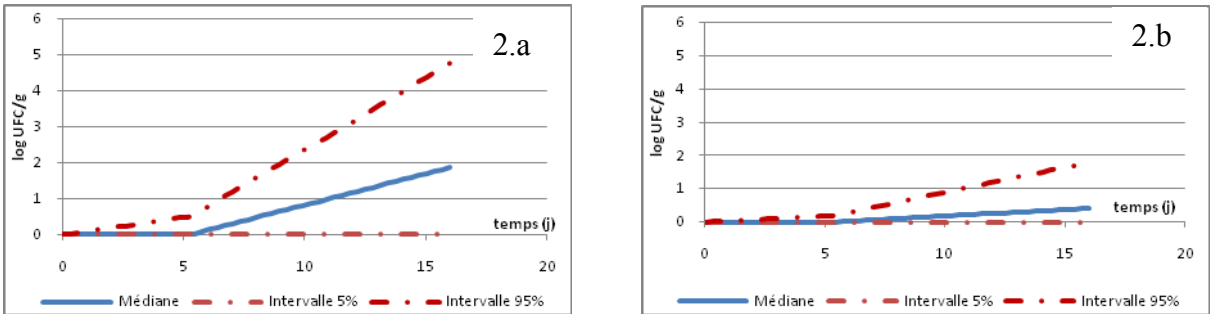


Figure 2. Cinétiques de croissance de *L. monocytogenes* dans les saucisses crues en fonction du temps en absence (2.a) et en présence d'une dose de 2,5% d'acide lactique (2.b). Les traits pleins représentent le comportement médian et les traits discontinus représentent les bornes de confiance à 90%.

La Figure 2.a montre qu'en absence d'acide lactique, et pour un niveau de contamination initiale de 1 UFC/10g, la croissance médiane de *L. monocytogenes* permet d'atteindre le seuil réglementaire de 2 log UFC/g en fin de DLC. En prenant en compte la variabilité liée aux paramètres physico-chimiques, la croissance du pathogène peut dans certains cas atteindre les 5 log UFC/g (intervalle 95%). En ajoutant une dose d'acide lactique de 2,5% (Figure 2.b), les résultats de simulation montrent que le seuil réglementaire de 2 log UFC/g n'est jamais atteint tout au long de la durée de vie du produit, même en tenant compte de la variabilité physico-chimiques. En se basant sur ces résultats, il devient possible de classer le produit dans la catégorie 2 puisqu'il ne contient pas *L. monocytogenes* à un niveau supérieur au seuil réglementaire pendant toute la durée de vie.

Exemple 2 : Détermination de la durée de vie de viande de porc fraîche conditionnée en unités de vente consommateur (UVC)

Le recours à la simulation est possible pour déterminer la durée de vie microbiologique des aliments et évaluer l'impact de différents scénarii de conservation sur la contamination microbienne. Pour cela, il convient d'identifier et d'étudier le micro-organisme dont le développement conditionne la qualité microbiologique du produit avant de réaliser les simulations. Dans cet exemple, le comportement de *Pseudomonas* dans la viande de porc fraîche conditionnée en UVC a servi de base pour valider une durée de vie de 7 jours.

Des données d'autocontrôle ont permis de connaitre la contamination initiale en *Pseudomonas* (N_0) ainsi que les paramètres physico-chimiques (pH et aw) de ce type de produit et de caractériser la variabilité qui leur est associée. Des données issues de précédentes études réalisées à l'IFIP ont également permis de caractériser la variabilité associée au taux de croissance optimum de *Pseudomonas* dans la viande de porc (μ_{opt}) ainsi que celle associée à sa densité de population maximale N_{max}. Un temps de latence nul a été utilisé pour représenter des conditions sécuritaires. Ces données sont présentées dans le Tableau 1. Les caractéristiques de croissance de *Pseudomonas* (valeurs cardinales de température, de pH et d'aw) ont été obtenues à partir de la littérature (Robles-Olvera 1999).

Tableau 1. Paramètres de croissance de Pseudomonas dans la viande de porc fraîche

Paramètre	Dénomination	Valeur
Temps de latence	*lag*	0±0
Contamination initiale	N_0	3,47±0,81
Contamination maximale	N_{max}	10,37±0,15
Taux de croissance optimal	μ_{opt}	1,099±0,031

Potentiel d'hydrogène	pH	6,09±0,14
Activité de l'eau	aw	0,994±0,001

Une fois les paramètres de croissance caractérisés, le logiciel Sym'Previus a été utilisé pour valider une durée de vie microbiologique de 7 jours avec une conservation à 4°C pendant 2/3 de la durée de vie, suivie d'une conservation à 8°C. Les résultats des simulations sont donnés dans la Figure 3.

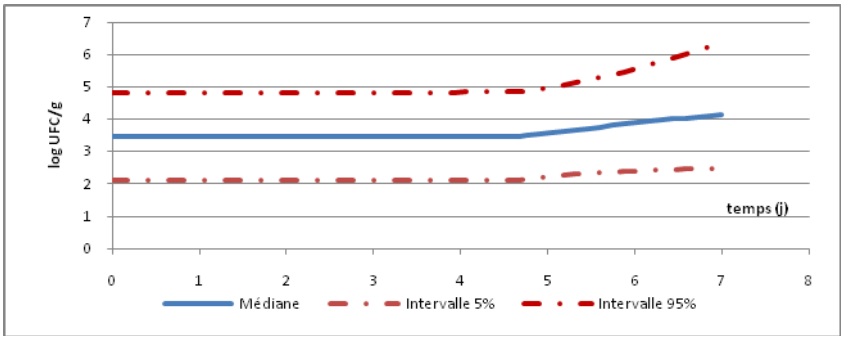


Figure 3. Cinétiques de croissance de *Pseudomonas* dans la viande de porc fraîche en fonction du temps. Les traits pleins représentent le comportement médian et les traits discontinus représentent les bornes de confiance à 90%.

Cette figure montre que pour 50% des cas (comportement médian) la contamination obtenue au bout des 7 jours est inférieure au seuil des 6 log UFC/g proposé par le guide des bonnes pratiques d'Hygiène. La Figure 3 montre néanmoins que, en tenant compte de la variabilité physico-chimique, dans certains cas, les produits peuvent présenter des niveaux supérieurs à cette limite. Le logiciel permet de visualiser la proportion d'UVC dont la contamination à la fin de la durée de vie dépasse les 6 log UFC/g et qui sont jugés non conformes (Figure 4.a). Cette proportion est estimée à près de 9% lorsque la DLC est de 7 jours. Pour diminuer le nombre de produits non conformes, il est possible de réduire la DLC par exemple à 5 jours et de refaire les simulations. La Figure 4.b montre que cette réduction de 2 jours permet de limiter le nombre de non conformes à un niveau inférieur à 3%, soit un niveau 3 fois moins important que celui obtenu pour une DLC de 7 jours.

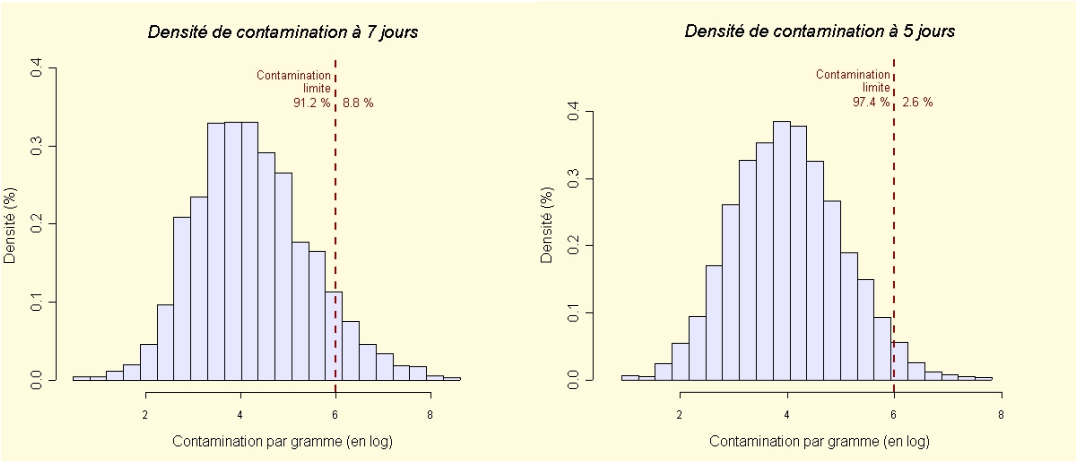


Figure 4. Densité de contamination de *Pseudomonas* dans la viande de porc fraîche stockée pendant 7 jours (4.a) et 5 jours (4.b) selon le scénario thermique 2/3 durée de vie à 4°C et 1/3 DVM à 8°C.

Il est également possible de diminuer le nombre de non conformités en limitant la contamination initiale. Ainsi, une diminution d'une unité log en moyenne de ce paramètre est plus efficace qu'une réduction de la durée de vie puisqu'elle permet de réduire la proportion de non conforme de 2,3% à 8,8% pour une durée de vie de 7 jours en 2/3 à 4°C et 1/3 à 8°C.

Conclusion

La microbiologie prévisionnelle est donc un outil très utile qui présente des applications concrètes en industrie. Elle permet de soutenir l'innovation et d'accélérer le développement de nouveaux produits. Elle permet également d'évaluer des mesures de maitrise et des mesures de gestion sur la qualité et la sécurité d'un aliment. Les résultats obtenus dépendent néanmoins fortement de la qualité des données de calibrage. Il est donc nécessaire de veiller à bien caractériser le couple aliment / micro-organisme étudié. De plus, même si les modèles utilisés sont de plus en plus complets, il reste difficile de modéliser de manière très fine les écosystèmes complexes que sont les aliments et les modèles restent souvent sécuritaires, notamment en ce qui concerne la prévision du temps de latence.

References

Augustin,J.-C., Zuliani,V., Cornu,M. and Guiller,L. (2005) Growth rate and growth probability of *Listeria monocytogenes* in dairy, meat and seafood products in suboptimal conditions. J. Appl. Microbiol. **99**, 1019-1042.

Baranyi,J. and Roberts,T.A. (1994) A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. Int. J. Food Microbiol. **23**, 277-294.

Buchanan,R.L. and Philips,J.G. (2000) Updated models for the effects of theperature, initial pH, NaCl and NanO2 on aerobic and anaerobic growth of *Listeria monocytogenes*. Quantitative Microbiol. **2**, 103-108.

Buchanan,R.L. and Whiting,R.C. (1996) Risk assessment and predictive microbiology. J. Food Prot. **Supplement**, 31-36.

Carrasco,E., Valero,A., Perez-Rodriguez,F., Garcia-Gimeno,R.M. and Zurera,G. (2007) Management of microbial safety of ready to eat meat products by mathematical modeling : *Listeria monocytogenes* as an example. Int. J. Food Microbiol.**114**, 221-226.

Coll Cardenas,F., Giannuzzi,L. and Zaritzky,N.E. (2008) Mathematical modelling of microbial growth in ground beef from Argentina. Effect of lactic acid addition, temperature and packaging film. Meat Scie. **79**, 509-520.

Dalgaard,P. (1995) Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish. Int. J. Food Microbiol. **26**, 305-317.

Delignette-Muller,M.-L., Rosso,L. and Flandrois,J.P. (1995) Accuracy of microbial growth predictions with square roots and polynomial models. Int. J. Food Microbiol. **27**, 139-146.

Dominguez,S.A. and Schaffner,D.W. (2007) Development and validation of a mathematical model to describe the growth of *Pseudomonas* spp. in raw poultry stored under aerobic conditions. Int. J. Food Microbiol. **120**, 287-295.

Drosinos,E.H., Mataragas,M., Veskovic-Moracanin,S., Gasparik-Reichardt,J., Hadziosmanovic,M. and Alagic,D. (2006) Quantifying nonthermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in European fermented sausages using bacteriocinogenic lactic acid bacteria or their bacteriocins: a case study for risk assessment. J. Food Prot. **69**, 2648-2663.

Giovannini,A., Prencipe,V., Conte,A., Marino,L., Petrini,A., Pomilio,F., Rizzi,V. and Migliorati,G. (2004) Quantitative risk assessment of *Salmonella* spp. infection for the consumer of pork products in an Italian region. Food Control **15**, 139-144.

Koutsoumanis,K. (2001) Predictive modeling of the shelf life of fish under nonisothermal conditions. Appl. Environ. Microbiol. **67**, 1821-1829.

Koutsoumanis,K. (2009) Modeling food spoilage in microbial risk assessment. J. Food Prot. **72**, 425-427.

Liu,F., Yang,R.Q. and Li,Y.F. (2006) Correlations between growth parameters of spoilage micro-organisms and shelf-life of pork stored under air and modified atmosphere at -2, 4 and 10°C. Food Microbiol. **23**, 578-583.

McMeekin, T. A., Olley, J., Ross, T. and Ratkowsky, D. A. (1993) Predictive Microbiology. Theory and Application. Tanton, UK: John Wiley and Sons.

Membré,J.M., Leporq,B., Vialette,M., Mettler,E., Perrier,L., Thuault,D. and Zwietering,M. (2005) Temperature effect on bacterial growth rate: quantitative microbiology approach including cardinal values and variability estimates to perform growth simulations on/in food. Int. J. Food Microbiol. **100**, 179-186.

Robles-Olvera, V. (1999) Comparaison de la croissance de Pseudomonas species et Listeria species en milieu liquide et en viande de boeuf . Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand.

Ross,T. and McMeekin,T.A. (2003) Modeling microbial growth within food safety risk assessment. Risk Analysis **23**, 179-197.

Ross,T., Dalgaard,P. and Tienungoon,S. (2000) Predictive modelling of the growth and survival of *Listeria* in fishery products. Int. J. Food Microbiol. **62**, 231-245.

Rosso,L., Lobry,J.R., Bajard,S. and Flandrois,J.P. (1995) Convenient model to describe the combined effects of temeprature and pH on microbial growth. Appl. Env.Microbiol. **61**, 610-616.

Seman,D.L., Borger,A.C., Meyer,J.D., Hall,P.A. and Milkowsky,A.L. (2002) Modelling the growth of *Listeria monocytogenes* in cured eady to eat processed meat products by manipulation of sodium chloride, sodium diacetate, potassium lactate and product moisture content. J. Food Prot. **65**, 651-658.

Shimoni,E. and Labuza,T.P. (2000) Modeling pathogen growth in meat products: future challenges. Trends Food Sci.Technol. **11**, 394-402.

Thuault,D. and Couvert,O. (2009) La simulation du comportement des micro-organismes dans les aliments. Rev. Gen. Froid cond.air **1090**, 45-50.

Zwietering,M., Wijtzes,T., DeWit,J.C. and Van'tRiet,K. (1992) A décision support system for the prediction of the micorbial spoilage in foods. J. Food Prot. **55**, 973-979.

QUELS OUTILS POUR DECRIRE LES ECOSYSTEMES BACTERIENS AU SEIN D'UN ALIMENT?

S. LEROY, R. TALON
INRA, UR 454 Microbiologie, 63122 Saint-Genès Champanelle, France.

Introduction

Les aliments d'origine animale sont des substrats parfaitement adaptés au développement d'un écosystème bactérien plus ou moins complexe. La description de ces écosystèmes repose en premier lieu sur l'identification des espèces bactériennes qui s'appuie depuis maintenant de nombreuses années sur des méthodes moléculaires adaptées, PCR ou sondes spécifiques d'espèces. Les approches classiques de caractérisation de ces écosystèmes sont basées sur la mise en culture des bactéries comme préalable à l'identification des espèces en présence (Figure 1). Ces approches ne donnent cependant accès qu'à un aspect limité de la diversité bactérienne puisque seules les bactéries cultivables et les espèces majoritaires peuvent être isolées puis identifiées. En effet, on oublie trop souvent qu'une partie des bactéries est réfractaire à la mise en culture. Quelques méthodes moléculaires permettent une approche directe s'affranchissant de l'étape de mise en culture des bactéries (Figure 1). Les approches basées sur la PCR ou RT-PCR, les puces à ADN, le séquençage des produits PCR peuvent être mises en œuvre pour identifier en partie les bactéries en présence. Des méthodes moléculaires plus globales telles que DGGE ou TGGE couplée à du séquençage peuvent permettre d'avoir une image plus ou moins complète de la diversité bactérienne à partir d'une grande variété de matrices alimentaires. Plus récemment l'approche par pyroséquençage de produits PCR permet de mener des études exhaustives de la diversité bactérienne avec une analyse sans à priori sur les espèces en présence permettant ainsi de décrire l'ensemble du microbiome, c'est-à-dire l'ensemble des gènes bactériens. Ces approches encore peu utilisées sur les aliments vont apporter un éclairage nouveau sur les microbiotes des aliments et sur leur évolution au cours des procédés.

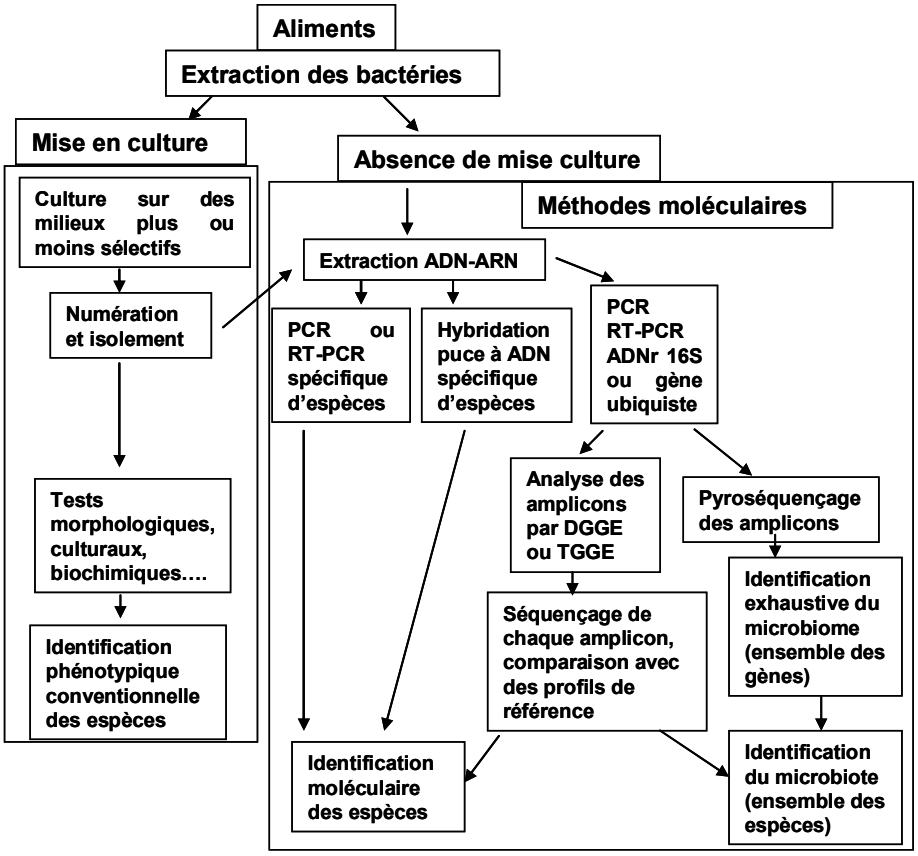


Figure 1 : Schéma d'identification des espèces et du microbiote au sein d'un aliment

Une approche directe sans mise en culture des bactéries

Différentes approches permettent d'évaluer la diversité bactérienne en s'affranchissant des étapes de mise en culture des bactéries qui ne permet d'avoir accès qu'à un faible pourcentage du microbiote des aliments. Ces approches sont basées sur l'analyse de l'ensemble du contenu en ADN ou ARN bactériens présents dans l'échantillon. Elles sont basées sur l'analyse des amplicons ou produits obtenus par l'amplification par PCR de l'ADN ou ADNc (ARN) à partir d'amorces ciblant des régions relativement bien conservées mais polymorphes dans le génome des bactéries. Le choix de ces amorces est un point clé pour la qualité de l'analyse. Cependant, l'étape la plus critique dans ces approches directes est l'efficacité de la méthode d'extraction et de purification de l'ADN ou ARN des écosystèmes des aliments. En effet, il faut que malgré la variété des matrices, l'ADN ou ARN de toutes les bactéries aussi bien à Gram négatif que positif soient accessibles et que les inhibiteurs potentiels de la réaction d'amplification enzymatique de l'ADN puissent être éliminés. De nombreuses méthodes d'extraction ont été développées. Les méthodes les plus utilisées reposent soit sur une lyse mécanique des bactéries par l'utilisation de billes de verre ou de zirconium, soumises à une forte agitation soit par une lyse enzymatique. La plupart des méthodes moléculaires utilisées sont basées sur l'analyse phylogénétique des séquences codant pour le gène de l'ARN 16S (ADNr 16S) bien que d'autres gènes ubiquistes peuvent être également ciblés tels que les gènes *rpoB* ou *gyrB*. L'ADNr 16S qui sert habituellement de référence pour l'identification des bactéries a la caractéristique d'avoir des régions très conservées de part et d'autre de régions polymorphes avec des signatures caractéristiques selon les espèces. Dans cette synthèse, nous avons fait le choix de nous focaliser sur les méthodes les plus performantes pour analyser les ADNr 16S.

Les approches par DGGE ou TGGE

Les méthodes de DGGE ou TGGE pour « Denaturing ou Temperature Gradient Gel Electrophoresis » sont de plus en plus utilisées pour la caractérisation des écosystèmes des aliments et notamment pour les aliments fermentés. Ces méthodes sont basées sur les différences de mobilité électrophorétique en conditions dénaturantes d'amplicons de même taille mais dont les séquences nucléotidiques présentent du polymorphisme (Figure 2). Les conditions dénaturantes sont obtenues au cours de l'électrophorèse soit par une concentration croissante d'urée et de formamide pour la DGGE ou par une augmentation croissante de la température pour la TGGE. Les amplicons initialement double brin migrent dans le gel de polyacrylamide jusqu'au moment où ils atteignent des conditions dénaturant leur domaine le moins stable, c'est à dire celui ayant le plus bas point de fusion. A partir du moment où les ADN sont partiellement dénaturés, leur migration est alors fortement freinée. Afin d'augmenter le seuil de résolution, une queue de 30 à 40 pb riche en bases GC est généralement ajoutée à l'une des extrémités des fragments PCR afin de s'assurer que la dénaturation des fragments reste toujours partielle. Ces techniques sont sensibles et peuvent permettre la séparation de fragments se différentiant par seulement une base. Ainsi il est possible d'obtenir un profil électrophorétique de la population bactérienne. Afin d'identifier les espèces en présence, il faut ensuite pourvoir assigner chaque fragment PCR à une espèce ou un genre par détermination de la séquence. Les produits PCR peuvent être séquencés soit directement par purification à partir du gel soit après avoir été préalablement clonés dans un vecteur. Une revue de Ercolini (2004) fait le point sur l'application de la méthode de DGGE à l'étude des écosystèmes des aliments et présente les différentes paires d'amorces utilisées pour cibler les régions variables de l'ADNr 16S.

Les approches par TGGE et surtout par DGGE ont été utilisées pour caractériser toute une variété d'aliments, notamment fermentés. La première caractérisation d'un aliment par ce type d'approche a été réalisée sur une boisson fermentée à base de maïs, le pozol (Ampe et al., 1999). Depuis, ces méthodes ont permis la description de laits crus et de plusieurs écosystèmes fromagers (Ercolini et al., 2001, 2003 ; Lafarge et al. ; 2004 ; Ogier et al., 2002, 2004). Quelques études sur la dynamique des populations bactériennes ont également été réalisées sur des fromages traditionnels (Florez et Mayo, 2006 ; Bonetta et al., 2008 ; Coppola et al. ;2001 ; Randazzo et al., 2002 ; Ercolini et al., 2004). Elles ont été également appliquées à des produits carnés et ont permis la description des populations bactériennes dans des saucisses fraîches (Cocolin et al., 2004) et des saucissons (Cocolin et al., 2001, 2004, 2006 ; Fontana et al., 2005 ; Rantsiou et al., 2005). La revue de Rantsiou et Cocolin (2006) permet d'avoir une vue d'ensemble sur les études décrivant les écosystèmes des saucissons. Des populations de bactéries lactiques ont également été décrites par ces approches au cours de la fabrication de vin et de whisky (Renouf et al., 2006 ; van Beek et al., 2002). Les travaux de Cocolin et al. (2007) ont permis une optimisation de la méthode de DGGE pour quelle soit applicable à divers aliments, viandes fraîches, saucissons et chorizos, jambons secs, et fromages frais ou affinés, ce qui permet de réaliser une étude comparative sur toute une gamme de produits.

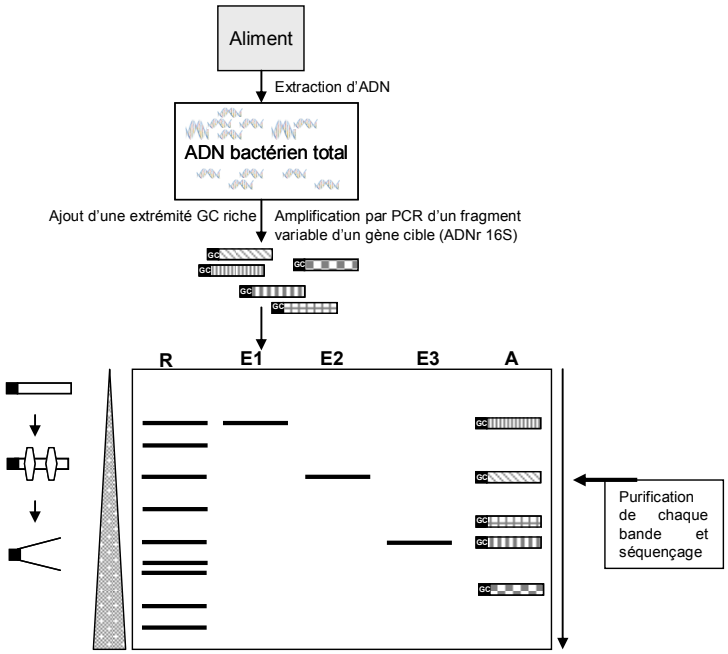


Figure 2 : Analyse des amplicons par DGGE
R= profil de référence, E1= espèce 1, E2= espèce 2, E3= espèce 3, A= aliment

L'approche par pyroséquençage

Le pyroséquençage est une technique de séquençage qui a été récemment développée. Elle permet un séquençage rapide (5 millions de base/heure au lieu des 5000 b/h par la technique traditionnelle de Sanger) et à moindre coût (environ 10 fois moins cher). La principale limite de cette méthode est la taille des séquences obtenues entre 250 et 400 bases à l'heure actuelle. Cependant, elle a l'immense avantage de permettre le séquençage direct des ADN amplifiés au sein de l'échantillon sans étape de séparation des produits grâce à l'utilisation de billes de capture. Ainsi les produits amplifiés et étiquetés des gènes codant pour l'ARN 16S peuvent être directement séquencés permettant de déchiffrer le microbiome, c'est-à-dire l'ensemble des gènes, ce qui permet d'estimer la richesse du microbiote en présence (Youssef et al., 2009). Cette approche a jusqu'à maintenant surtout été utilisée pour inventorier les microbiomes de l'environnement (sol, océan) ou du tube digestif mais n'a été que peu appliquée à la caractérisation des aliments. Cependant, les quelques études réalisées sur les aliments laissent envisager tout le potentiel de cette approche. Le pyroséquençage a été mis en œuvre pour la description des populations bactériennes à différents stades du procédé de dix pâtes de mil fermentées, compléments alimentaires très populaires en Afrique de l'Ouest (Humblot et Guyot, 2009). Dans cette étude, ils ont généré plus 137 000 séquences d'ADNr 16S de 200 bases mettant en évidence la dynamique des populations bactériennes au cours de la fermentation et la présence de nombreuses bactéries faisant habituellement partie du microbiote digestif en plus des traditionnelles bactéries lactiques (Humblot et Guyot, 2009). Récemment, sept produits de la mer fermentés asiatiques ont été caractérisés par pyroséquençage des ADNr 16S sur la base de quelques 13 000 séquences (Roh et al., 2010). Dans cette étude, la présence d'un groupe d'archébactéries non cultivable et jamais décrit dans des aliments fermentés a été révélée. De plus, l'approche par pyroséquençage permet d'avoir accès à des données sur une grande partie du micobiote sous dominant.

Conclusion

Les outils moléculaires actuellement disponibles, aussi bien en terme de performance et sensibilité que de coût, vont permettre de revisiter les écosystèmes bactériens des aliments. Appliqués à une large gamme d'aliment, ils vont apporter des connaissances nouvelles sur ces microbiotes, aussi bien au niveau des espèces en présence que sur leur évolution au cours des procédés de fabrication. Il est ainsi possible de faire un inventaire d'un écosystème sans avoir à se focaliser sur les groupes de bactéries les plus connus et les plus souvent décrits. Les

méthodes présentées ici sont loin d'être exhaustives mais celles que nous avons choisi de décrire ont fait la preuve de leur application à des aliments.

Références

- Ampe F., Ben Omar N., Moizan C., Wacher C., Guyot J.P., 1999. Appl. Environ. Microbiol., 65, 5464-5473.
Bonetta S., Carraro E., Rantsiou K., Cocolin L., 2008. Food Microbiol., 25, 786-792.
- Cocolin L., Manzano M., Cantoni C., Comi G., 2001. Appl. Environ. Microbiol., 67, 5113-5121.
- Cocolin L., Rantsiou K., Iacumin L., Urso R., Cantoni C., Comi G., 2004. Appl. Environ. Microbiol., 70, 1883-1894.
- Cocolin L., Urso R., Rantsiou K., Cantoni C., Comi G., 2006. Appl. Environ. Microbiol., 72, 942-945.
- Cocolin L., Diez A., Urso R., Rantsiou K., Comi G., Bergmaier I., Beimfohr C., 2007. Int. J. Food Microbiol., 120, 100-109.
- Coppola S., Blaiotta G., Ercolini D., Moschetti G., 2001. J. Appl. Microbiol., 90, 414-420.
- Ercolini D., Moschetti G., Blaiotta G., Coppola S., 2001. Syst. Appl. Microbiol., 24, 610-617.
- Ercolini D., Hill P.J., Dodd C.E., 2003. Appl. Environ. Microbiol., 69, 3540-3548.
- Ercolini D., 2004. J. Microbiol. Methods, 56, 297-314.
-Florez A.B.,Mayo B., 2006. Int. J. Food Microbiol., 110, 165-171.
- Fontana C., Cocconcelli P.S., Vignolo G., 2005. Int. J. Food Microbiol., 103, 131-142.
- Humblot C.,Guyot J.P., 2009. Appl. Environ. Microbiol., 75, 4354-4361.
- Lafarge V., Ogier J.C., Girard V., Maladen V., Leveau J.Y., Gruss A., Delacroix-Buchet A., 2004. Appl. Environ. Microbiol., 70, 5644-5650.
- Ogier J.C., Son O., Gruss A., Tailliez P., Delacroix-Buchet A., 2002. Appl. Environ. Microbiol., 68, 3691-3701.
- Ogier J.C., Lafarge V., Girard V., Rault A., Maladen V., Gruss A., Leveau J.Y., Delacroix-Buchet A., 2004. Appl. Environ. Microbiol., 70, 5628-5643.
- Randazzo C.L., Torriani S., Akkermans A.D., de Vos W.M., Vaughan E.E., 2002. Appl. Environ. Microbiol., 68, 1882-1892.
- Rantsiou K., Urso R., Iacumin L., Cantoni C., Cattaneo P., Comi G., Cocolin L., 2005. Appl. Environ. Microbiol., 71, 1977-1986.
- Rantsiou K., Cocolin L., 2006. Int. J. Food Microbiol., 108, 255-267.
- Renouf V., Claisse O., Miot-Sertier C., Lonvaud-Funel A., 2006. Food Microbiol., 23, 136-145.
- Roh S.W., Kim K.H., Nam Y.D., Chang H.W., Park E.J., Bae J.W., 2010. ISME J, 4, 1-16.
- van Beek S., Priest F.G., 2002. Appl. Environ. Microbiol., 68, 297-305.
- Youssef N., Sheik C.S., Krumholz L.R., Najar F.Z., Roe B.A., Elshahed M.S., 2009 Appl. Environ. Microbiol., 75, 5227-5236.

QUALITES MICROBIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

Conférences invitées

Communications

LACTOBACILLUS SAKEI UTILISE LE FER ET ÇA LUI DONNE DU RESSORT!

P. DUHUTREL[a], C. BORDAT[b], M. ZAGOREC[a], M.-C. CHAMPOMIER VERGÈS[a].

a Équipe FLEC, MICALIS UMR 1319, INRA, Domaine de Vilvert, F-78350 Jouy en Josas, France.
b Unité Nurélice, UR 909 INRA, Domaine de Vilvert, F-78350 Jouy en Josas, France.
Marie–Christine.Champomier-Verges@jouy.inra.fr

Introduction

Lactobacillus sakei est une bactérie lactique qui fait partie de la flore naturelle de la viande. Lorsque celle-ci est conservée sous vide à basse température, *L. sakei* devient dominante dans l'écosystème. Son développement est garant d'une bonne conservation de ces produits et d'une moindre contamination par des bactéries pathogènes (Vermeiren *et al* 2004, Vold *et al* 2000). Ces effets sont attribués à des phénomènes multiples qui restent encore mal connus.

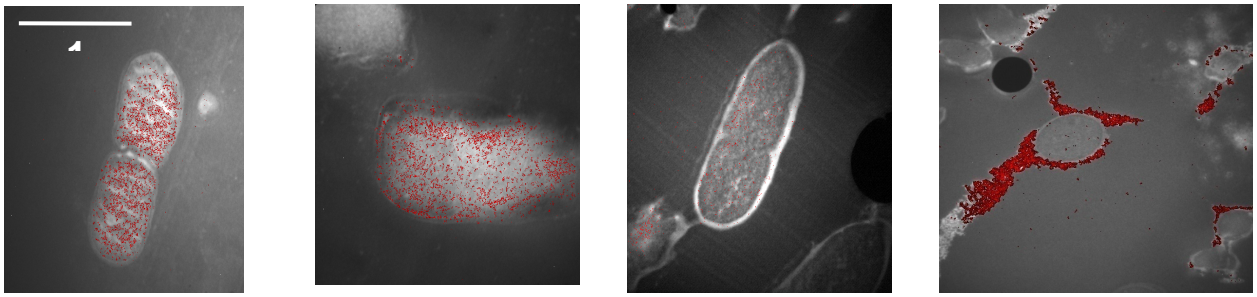
Le génome de la souche 23K a été séquencé (Chaillou *et al* 2005) et son analyse approfondie a mis en lumière les facteurs importants qui expliquent l'adaptation de la bactérie au milieu carné. Ceux-ci se caractérisent par un ensemble de propriétés conférant un avantage compétitif à *L. sakei* : une meilleure utilisation des ressources nutritives du substrat viande, une meilleure résistance aux conditions adverses rencontrées lors de la conservation et la capacité de produire des molécules toxiques vis à vis d'autres bactéries pathogènes ou d'altération. Parmi ces caractéristiques remarquables il en est une qui a particulièrement retenu notre attention : il s'agit du métabolisme de l'hème et du fer qui pourrait représenter une propriété importante pour la compétitivité de l'espèce dans l'écosystème carné. Dans la viande, le fer est présent en grande quantité, et représente un élément important pour le métabolisme de nombreuses bactéries; il est pour sa plus grande part, complexé à l'hème dans la myoglobine ou l'hémoglobine. Sous cette forme il est plus difficilement accessible pour les bactéries que lorsqu'il se trouve sous forme de sel ou d'hydroxydes comme dans d'autres environnements. L'analyse du génome de *L. sakei* a mis en lumière l'existence de plusieurs systèmes de transport de fer potentiels et trois régulateurs transcriptionnels fer-dépendants de la famille Fur (Ferric Uptake Regulator). Cet équipement génétique milite donc pour l'utilisation du fer par *L. sakei.* L'objectif de notre travail est donc de comprendre l'importance du métabolisme du fer et de l'hème pour l'implantation, le développement et le maintien de *L. sakei* dans les produits carnés frais.

Matériel et méthodes

La souche de *L. sakei* 23K a été cultivée dans un milieu de culture chimiquement défini en présence de différentes sources de fer (40 µm) : $FeCl_3$, hème, myoglobine et hémoglobine. Les cellules bactériennes ont été récoltées au bout de 8h30 de culture ce qui correspond à un début de phase stationnaire. Nous avons mis au point une méthode de microscopie électronique par perte d'énergie qui permet de visualiser le fer à l'intérieur des cellules.

Résultats

L'analyse du fer intra cellulaire montre que seules les sources de fer présentes dans l'environnement carné peuvent être internalisées: hème, myoglobine, hémoglobine et transferrine (Figure 1 A, B, C).Le fer libre n'entre pas dans les cellules (Figure 1D).



A B C D

Figure 1 : Cartographie du fer intracellulaire par analyse EELS chez *L. sakei* 23K cultivé en présence de A) myoglobine, B) Hémoglobine, C) Transferrine D) $FeCl_3$. Le fer est représenté par les spots rouges (Duhutrel *et al* 2010).

Cette accumulation du fer dans les cellules est corrélée à une augmentation de survie en phase stationnaire. Les sources de fer héminiques (hémoglobine, myoglobine, hème) sont internalisées en plus grande quantité et améliorent mieux la survie que la transferrine, internalisée en plus faible quantité.

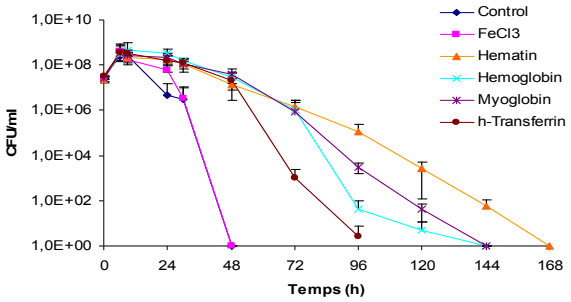


Figure 2 : Survie en phase stationnaire de *L. sakei* cultivé en présence de différentes sources de fer

Conclusion

L. sakei est capable d'utiliser les sources de fer de son environnement carné, ce qui améliore grandement sa survie en phase stationnaire. Le métabolisme du fer et de l'hème semble donc un facteur important d'adaptation à la matrice carnée et pourrait constituer un facteur de compétition avec d'autres espèces de l'écosystème comme les bactéries d'altération du genre *Pseudomonas* ou les espèces pathogènes comme *Listeria monocytogenes* et *Escherichia coli,* qui sont connues pour leurs grandes exigences en fer.

Références bibliographiques

- Chaillou S., Champomier-Vergès M. C., Cornet M., Crutz Le Coq A.-M., Dudez A.-M., Martin V., Beaufils S., Bossy R., Darbon-Rongère E., Loux V. and M. Zagorec. 2005. Complete genome sequence of the meat borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K. Nature Biotechnology, **23**:1527-1533.
- Duhutrel P, Bordat C, Wu TD, Zagorec M, Guerquin-Kern JL, Champomier-Vergès MC. 2010 Iron sources used by the nonpathogenic lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* as revealed by electron energy loss spectroscopy and secondary-ion mass spectrometry. Appl Environ Microbiol.**76**:560-565.
-Vermeiren L., Devlieghere F. and J. Debevere. 2001. Evaluation of meat borne bacteria as protective cultures for the biopreservation of meat. Int. J. Food Microbiol. **66**:191-196.
-Vold L., Holck A., Wasteson Y. and H.Nissen. 2000. High levels background flora inhibits growth of Escherichia coli O:157 H7. Int. J. Food Microbiol. **56**:219-225.

TRAITEMENT DES CARCASSES BOVINES PAR « STEAM VACUUM » EN COURS D'ABATTAGE

CARTIER P., ALLAIS L., MALAYRAT C.

INSTITUT DE L'ELEVAGE – Service Qualité des Viandes
Route d'Epinay – 14310 Villers Bocage.

Introduction

Depuis les années 93-95, différents équipementiers américains ont mis sur le marché des appareils portables, dédiés à l'élimination des souillures visibles en surface des carcasses bovines. Ces équipements dits « steam vacuum » combinent 2 principes, à savoir l'aspiration mécanique des souillures et la destruction des microorganismes par un jet d'eau chaude ou de vapeur. L'efficacité de ces procédés reste toutefois controversée (voir par exemple Dorsa et al 1996, 1997, Phébus et al, 1997, Kochevar et al 1977, Sofos et Smith 1998, Steenberg et al, 2005, 2006, Le Roux et al, 2008). L'objectif des essais décrits ci-après a été d'évaluer les performances d'un équipement de type « steam vacuum » (le vapo vac), lors d'une utilisation en cours d'abattage, c'est à dire avec une contrainte de temps élevée. Deux utilisations du matériel ont été testées, d'une part le « spot cleaning » c'est à dire le traitement sélectif des souillures circonscrites de faible taille (souillures « spot ») et d'autre part le « toilettage des carcasses » consistant à traiter, de façon systématique, les zones anatomiques des carcasses les plus sujettes aux contaminations d'abattage. Au delà des souillures « spot », le choix a été fait de travailler également sur des souillures plus étendues, provenant notamment de carcasses dites « à accident d'éviscération » (cf. matériels et méthodes). Enfin les conséquences du traitement sur l'aspect des carcasses ont été examinées.

Matériel et Méthodes

L'expérimentation a porté sur 118 carcasses de Jeunes Bovins, abattus traditionnellement dans un même abattoir (cadence : environ 38 bovins/heure) et réparties sur 3 journées consécutives de tuerie. En fonction de leur état de propreté (présence ou non de souillures visibles, plus ou moins étendues, circonscrites ou diffuses, en provenance du cuir ou du tube digestif), ces carcasses ont été classées en 4 catégories (P, SC1, SC2 et SE) :

- P : carcasses visuellement propres : 33 carcasses indemnes de souillure visible ont été considérées.
- SC1 et SC2 : présence de souillures circonscrites en provenance du cuir : 70 carcasses faisant l'objet de souillures circonscrites en provenance du cuir ont été considérées. Elles ont été dissociées en 2 sous groupes (SC1 et SC2) en fonction de l'étendue de ces souillures. Le sous groupe SC1 (55 carcasses) correspond à la présence de souillures « spot », d'un diamètre n'excédant pas 3 cm. Le sous groupe SC2 (15 carcasses) fait référence aux souillures d'une taille supérieure. Leur superficie était, au plus, équivalente à la taille d'une main.
- SE : présence de souillures diffuses en provenance du tube digestif : 15 carcasses identifiées par l'entreprise comme ayant fait l'objet d'un accident d'éviscération ont été introduites dans l'essai. Visuellement, ces carcasses présentaient des coulures jaunes verdâtres, relativement diffuses, généralement très étendues (100 à 800 cm^2) et réparties de façon aléatoire sur la face interne et/ou externe de la carcasse.

Les essais ont été réalisés en fin de chaine d'abattage Sur chacune des carcasses, l'expérimentation a consisté à :

- Réaliser un 1er prélèvement par excision (NF V 04-501) d'une surface de 25 cm^2 (estimation de la contamination initiale de la zone)
- Appliquer la tête de nettoyage du vapo vac. Le temps de traitement a été d'environ 5-7s, pour une surface d'approximativement 700 cm^2 (20cm x 35cm), ce qui correspond à un maximum de 2 passages en tout point de la zone.
- Réaliser un 2ème prélèvement par excision (estimation de la flore résiduelle, après traitement).

Sur les 15 carcasses SE, compte tenu de l'étendue des souillures, ces contrôles ont été effectuée en 2 ou 3 points distincts, d'ou l'obtention de 38 données

Les prélèvements collectés ont fait l'objet d'un dénombrement de la Flore Aérobie Mésophile (FAM) comme décrit dans la norme NF V 08-51 et un dénombrement d'entérobactérie selon la norme NF V 08-54 Les analyses statistiques ont été effectuées en démarche exploratoire.

Résultats et discussion

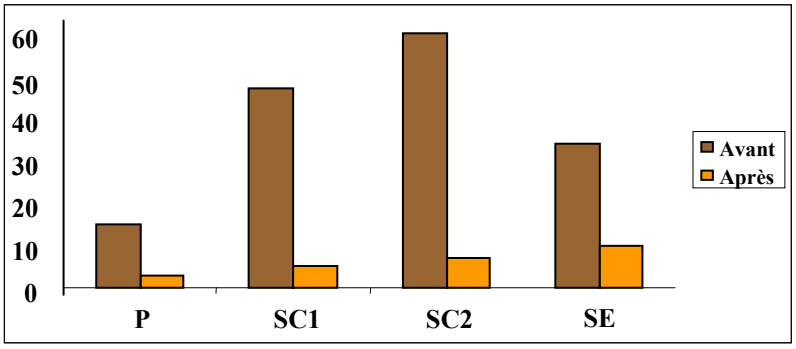
Globalement, c'est à dire sur les 141 données, la FAM moyenne observée après le traitement (Tableau 1) est ramenée à 1.7 log, alors qu'elle se situait initialement à 2.9 log. Ainsi, toutes catégories de carcasses confondues, le traitement vapeur induit une réduction d'un peu plus d'un log de la flore superficielle. Cette réduction est significative. En outre, et conformément aux données bibliographiques, les tests statistiques réalisés révèlent que cet effet est dépendant de l'état initial de propreté des carcasses étudiées. Les plus fortes réductions (soit en moyenne 2.2 log) sont observées sur les carcasses SC2, présentant des souillures étendues, en provenance du cuir, qui par ailleurs étaient initialement les plus

contaminées (3.7 log en moyenne). En présence de souillures « spot » (carcasses du groupe SC1, présentant initialement une contamination moyenne de 3.2 log), l'effet du traitement reste marqué (réduction de la FMA de 1.3 log, d'ou la persistance d'une flore résiduelle à hauteur de 1.9 log après traitement). En ce qui concerne les carcasses P exemptes de souillures visibles, les tests concluent également à une réduction significative de la FAM après traitement. Cet effet a rarement été décrit dans la littérature. Bien que moins prononcé que dans les 2 cas précédents, il se traduit toutefois par une réduction de la flore de 0.9 log, Enfin, pour les carcasses SE, la réduction de la flore induite par le traitement est du même ordre de grandeur que celle observée sur des surfaces exemptes de souillures, soit 0.8 log.

Type de Carcasses	Effectif	FAM (log/cm2)		
		Avant traitement	Après traitement	Écart
P	33	2,1 ± 0,9	1,2 ± 0,9	- 0,9
SC_1	55	3,2 ± 1,0	1,9 ± 1,0	- 1,3
SC_2	15	3,7 ± 0,6	1,6 ± 1,0	- 2,1
SE	38	2,8 ± 1,0	2,1 ± 1,0	- 0,7
TOTAL	141	2,9 ± 1,1	1,7 ± 1,0	- 1,2

Tableau 1 : Contamination (FAM) des carcasses étudiées, avant puis après traitement au vapo vac.

Concernant les entérobactéries et sur l'ensemble des carcasses, une prévalence de 37 % a été observée avant l'application du traitement. Celle ci chute à 5 % après l'application du vapo vac. Cette réduction est statistiquement significative, en revanche les tests réalisés ne mettent pas en évidence un effet de la propreté visuelle des carcasses sur l'ampleur de la réduction. En fait, et à l'image des données visualisées sur la figure 1, tout ce passe comme si après application du vapo vac, et quelle que soit la catégorie de carcasses, la probabilité de dénombrer des entérobactéries devenait extrêmement faible. En outre, sur les rares échantillons (9 sur 141) pour lesquels une contamination a été détectée, les numérations étaient très faibles (8 fois sur 9 inférieurs à 1 log).



Abscisses : Type de carcasses

P : propre (n=33)
SC1 : souillures cuir « spot » (n=55)
SC2 : souillures cuir étendues (n=15)
SE : souillures éviscération (n=38)

Ordonnées : Pourcentage d'échantillons ayant conduit à une numération des entérobactéries (%)

Figure 1 : Evolution de la prévalence en entérobactéries des carcasses, sous l'effet du traitement vapeur**.**
(nb : le seuil de détection de la méthode de dénombrement est de 0.56 log)

Enfin pour ce qui est de l'impact du traitement sur l'aspect des carcasses, comme de nombreux auteurs, nous avons constaté, un blanchiment immédiat des carcasses, mais après un temps d'application largement supérieur à celui retenu pour le traitement des carcasses (30-45 secondes contre 5-7 secondes). En outre, 24 heures plus tard ce phénomène n'était plus visible. On peut donc conclure que le traitement n'affecte pas l'aspect des carcasses

Conclusion

Les essais décrits ici montrent que le vapo vac, utilisé en cours d'abattage, permet de réduire la charge bactérienne présente en surface des carcasses bovines. L'utilisation de ce type de matériel peut donc contribuer à maîtriser la qualité hygiénique des carcasses, tout particulièrement vis à vis des souillures « spot » en provenance du cuir.

Références bibliographiques

Dorsa . J., Cutter C. N., Siragusa G. R. , 1997. Journal of food protection., 60, 114-119.
Kochevar S.L ., Sofos J.N., Bolin R. R., Reagan J. O., Smith G. C., 1997. Journal of food protection., 60, 107-113.
Le Roux A., Minvielle B., Gault E., 2008. Communication au 54ème Congrès mondial des chercheurs en viande (Icosmt). Aout 2008. Le Cap. Afrique du Sud.
Phebus R. K., Nutsch D. E., Schafer R. C., Wilson M. J., Riemann J. D., Leising C. L., Kastner C. L., Wolf J., R., Prasai R. K. 1997. Journal of food protection., 60, 476-484.
Steenberg B., Torngren M. A., Madsen N. T. 2005. Communication au 51ème Congrès mondial des chercheurs en viande (Icosmt). Aout 2005. Baltimore. USA
Steenberg B., Teilmann J., Christensen H. Dalsgaard B. 2006. Communication au 52ème Congrès mondial des chercheurs en viande (Icosmt). Aout 2006. Dublin. Irlande
Sofos J. N., Smith G. C., 1998. International journal of food microbiology, 44, 171-188.

TRANSFERT DE LA RESISTANCE A LA TETRACYCLINE ENTRE *STAPHYLOCOCCUS XYLOSUS IN CARNIS*

S. LEROY[1] , S. CHRISTIEANS[2], J-P. CHACORNAC[1], R. TALON[1]
[1]INRA, UR 454 Microbiologie, 63122 Saint-Genès Champanelle, [2]Association pour le Développement De l'Institut de la Viande, 10 rue Jacqueline Auriol, ZAC Parc Industriel des Gravanches, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2, France.

Introduction

Les staphylocoques à coagulase négative (SCN) sont des bactéries ubiquistes, commensales de la peau et des muqueuses de l'homme et de divers animaux. Ils se retrouvent ainsi naturellement présents dans les produits d'origine animale comme les salaisons et les fromages. Ils interviennent dans le développement des qualités organoleptiques assurant la typicité et la diversité de ces produits (1, 2). Certaines espèces sont couramment utilisées comme ferment. Cependant des études décrivent des souches de SCN isolées des aliments et exprimant des facteurs de risque (toxines, antibiorésistance, production d'amines biogènes) dont les déterminants génétiques peuvent être portés par des éléments génétiques mobiles (3, 4, 5). Parmi les SCN, l'espèce *Staphylococcus xylosus* est une des espèces majoritairement isolées des fromages et salaisons (6). De plus, elle est couramment utilisée comme ferment. Nous avons montré que les facteurs de risques chez *S. xylosus* se limitent à la présence et l'expression de quelques déterminants de résistance aux antibiotiques pour 36% des souches de *S. xylosus* (7). Un des déterminants de résistance le plus fréquemment rencontré chez *S. xylosus* est celui à la tétracycline (7). Notre objectif a été d'évaluer la capacité de *S. xylosus* à transférer cette résistance *in vitro* en milieu de laboratoire et *in carnis* dans des saucissons.

Matériels et méthodes

Cinq souches de *S. xylosus* isolées d'aliments et résistantes à la tétracycline ont été étudiées pour leur capacité à transférer leur résistance à la souche de *S. xylosus* C2a, sensible à la tétracycline. La résistance à la tétracycline est conférée par le gène *tetK* porté par un plasmide et codant une protéine membranaire d'efflux. La souche C2a a été rendue résistante à l'acide fusidique et à la rifampicine, deux résistances non transférables, pour permettre la sélection des clones initialement sensibles à la tétracycline et ayant acquis cette résistance par transfert du plasmide.

Transfert par conjugaison *in vitro*
Des cultures en milieu BHI (Brain Heart Infusion, Difco) des souches donneuses (souches résistantes à la tétracycline) et la souche receveuse C2a ont été mises en contact sur un filtre de cellulose de 0,45 µm et cultivées sur gélose BHI. Les ratios entre souche donneuse et receveuse étaient de 1/10.

Transfert par conjugaison *in carnis* dans le saucisson. Les essais de transfert ont été réalisés entre la souche donneuse *S. xylosus* XIV10B1 et la souche receveuse *S. xylosus* C2a inoculées à 10^6CFU/g ou 10^8CFU/g de mêlée en présence de *Lactobacillus sakei* à 10^6 CFU/g. Les souches ont été ensemencées dans une mêlée composée de viande de porc (80%) et du gras de porc (20%), additionnée d'ingrédients avec une formulation basée sur les pratiques industrielles les plus courantes. Les produits ont suivi un procédé de fabrication de type industriel, une fermentation à 24°C pendant 6 jours et un séchage à 14°C pendant 30 jours.

Sélection et contrôle. Des dénombrements ont été réalisés sur un milieu BHI gélosé additionné des antibiotiques nécessaires à la sélection de transconjugants, c'est-à-dire les bactéries initialement sensibles ayant acquis la résistance à la tétracycline : rifampicine et acide fusidique 25 µg/ml, et tétracycline 10 µg/ml. Les transconjugants obtenus ont été vérifiés par analyse de leur profil de résistance, par amplification par PCR spécifique du gène de résistance à la tétracycline et par analyse de leur profil ADN (profil génomique en PFGE, profil plasmidique).

Résultats et discussion

Transfert du gène de la résistance à la tétracycline *in vitro*
Un transfert *in vitro* sur filtre de la résistance à la tétracycline a pu être mis en évidence entre souches de *S. xylosus* pour deux des 5 souches étudiées. Les fréquences de transfert, calculées à partir du nombre de bactéries receveuses devenues résistantes/ nombre de bactéries donneuses initiales, étaient très faibles de l'ordre de 10^{-8}. Les transconjugants étaient résistants à la rifampicine, l'acide fusidique et la tétracycline avec des niveaux de résistance identiques aux souches donneuses et receveuse.

La présence du gène de résistance à la tétracycline (*tetK*) a été recherchée par une PCR spécifique sur les souches donneuses et les transconjugants. Un amplicon de la taille attendue (360 bp) et vérifié par séquençage a été mis en évidence chez ces souches confirmant la présence du gène *tetK* (figure 1). Les profils d'ADN obtenus par PFGE des souches donneuses et de la souche receveuse C2a étaient différents. Nous avons montré que ceux des transconjugants étaient bien identiques à celui de la souche receveuse C2a (figure 2). Nous avons montré chez les souches donneuses et les transconjugants la présence d'un plasmide portant le gène *tetK* alors que la souche receveuse C2a n'a pas de plasmide.

L'ensemble de ces données démontre qu'il y a bien eu un transfert dans nos conditions de laboratoire de la résistance à la tétracycline chez la souche C2a par acquisition d'un plasmide portant cette résistance.

Transfert du gène de la résistance à la tétracycline *in carnis*

Un transfert de cette résistance entre les deux souches de *S. xylosus* a pu être observé dans des saucissons fabriqués en condition pilote mais uniquement lorsque les souches étaient ensemencées à un taux de 10^8CFU/g, ce qui est un taux d'inoculation bien supérieure aux pratiques habituelles pour les ferments (10^6 CFU/g). Les deux souches de *S. xylosus* se sont maintenues dans les saucissons, du stade initial au final. Des transconjugants ont pu être mis en évidence dès la fin de la période de fermentation. La fréquence de transfert est très faible et du même ordre que celle estimée in vitro, 10^{-8}. Au stade final de séchage, les transconjugants étaient toujours présents.

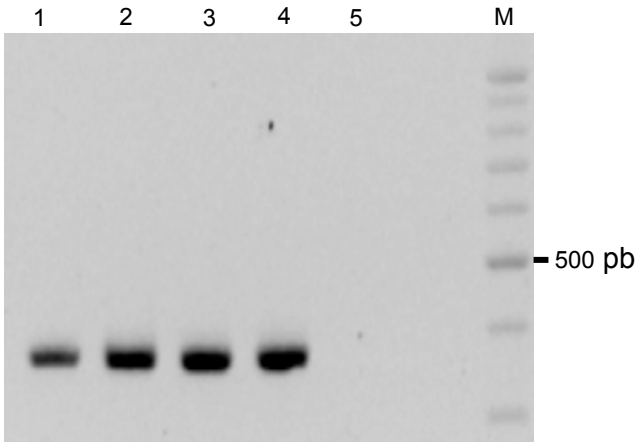


Figure 1 : PCR ciblant le gène *tetK* chez *S. xylosus*. Puits 1, souche XIV10B1 ; 2, 3, 4, transconjugants, 5, souche C2a ; M, marqueur de taille 100 pb (Promega)

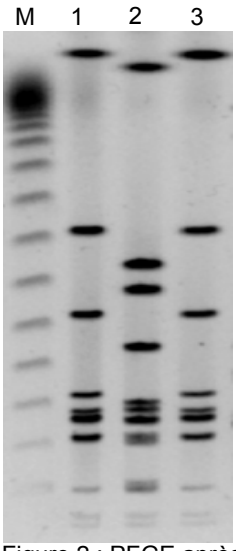


Figure 2 : PFGE après restriction par l'enzyme *Sma*I de l'ADN de *S. xylosus*. Puits M, marqueur de taille Lambda (Promega) ; 1, souche C2a ; 2, souche XIV10B1 ; 3, transconjugant.

Conclusion

Il apparaît que le transfert de résistance à la tétracycline entre souches de *S. xylosus* est possible au sein d'un aliment mais avec un taux de fréquence très faible ce qui représente un risque très modéré. C'est la première fois qu'un tel transfert est démontré au sein d'un aliment fermenté. Il faut souligner que dans l'application de l'approche européenne de présomption d'innocuité (QPS -Qualified presumption of safety), il est indiqué que les souches de *S. xylosus* utilisées comme ferment ne doivent pas avoir de déterminants de résistance aux antibiotiques ce qui sous-tend de considérer ce critère lors de la sélection de ferment.

Références bibliographiques

1- Bockelmann W. 2002. Development of defined surface starter cultures for the ripening of smear cheeses. Int Dairy J 12 (2-3): 123-131.

2- Talon R., Leroy S. 2006. Latest developments in meat bacterial starters. In Advanced Technologies for Meat Processing, Eds. Nollet LML and Toldra F., CRC Press, Taylor and Francis group, New York. Chapter 16, pp 401-418.

3- Rodriguez M., Nunez F., Cordoba J.J., Bermudez E., Asensio M.A., 1996. Gram positive, catalase positive cocci from dry cured ham and their enterotoxigenic potential. Appl. Environ. Microbiol. 62, 1897-1902.

4- Vernozy-Rozand C., Mazuy C., Prevost G., Lapeyre C., Bes M., Brun Y., Fleurette J. 1996. Enterotoxin production by coagulase-negative staphylococci isolated from goat's milk and cheese. Int. J. Microbiol., *30*, 271-280

5- Silla Santos M.H. 1998. Amino acid decarboxylase capability of microorganisms isolated in Spanish fermented meat products. Int. J. Food Microbiol. 39, 227-230.

6- Coton E., Desmonts M.H., Leroy S., Coton M., Jamet E., Christieans S., Donnio P.Y., Lebert I., Talon R. 2010. Biodiversity of Coagulase-Negative Staphylococci in French cheeses, dry fermented sausages, processing environments and clinical samples. Int. J. Food Microbiol. 137, 221-229.

7- Even S., Leroy S.; Charlier C.; Ben Zakour N.; Chacornac J.P., Lebert I., Jamet E.; Desmonts M.H.; Coton E.; Pochet S., Donnio P.Y.; Gautier M.; Talon R.; Le Loir Y. 2010. Low occurrence of safety hazards in coagulase negative staphylococci isolated from fermented foodstuffs. Int. J. Food Microbiol. 139, 87-95.

Remerciements

Cette recherche a été financée par des fonds de l'Agence Nationale de la Recherche, ANR-05-PNRA-005-2005.

EFFET DE LA PRESENCE DE CADMIUM OU DE PLOMB DANS L'ALIMENTATION DU PORC SUR LES TENEURS DANS LES TISSUS COMESTIBLES

ROYER E.[1], LEBAS N.[2]
Ifip-Institut du porc, Pôle Techniques d'Elevage, [1]34 bd de la Gare, 31500 Toulouse, France
[2]Les Cabrières, 12200 Villefranche-de-Rouergue, France.

Introduction

Le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont des contaminants présents dans l'environnement, naturellement et à la suite des activités humaines. Leur présence dans l'alimentation du bétail, lorsqu'elle survient, entraine principalement une accumulation dans les reins et les foies des animaux. Aussi, bien que les teneurs dans les produits carnés soient généralement bien en dessous des limites réglementaires, les organes comestibles du porc contribuent à l'exposition totale chez l'homme (EFSA, 2009, 2010). En France, les plans de contrôles révèlent un taux élevé de conformité ainsi que de rares dépassements ponctuels (Commission Européenne, 2000 à 2008; Mircovitch, 2005). Un essai étudie l'effet sur les organes comestibles, de la présence dans l'alimentation des porcs de cadmium et/ou de plomb à des teneurs s'approchant des seuils fixés par la Directive UE 2002/32.

Matériels et méthodes

L'étude a été réalisée à la Station expérimentale de Villefranche-de-Rouergue avec 4 groupes de 4 porcs femelles issus du croisement LWxLD et LWxPiétrain. A partir de 42 jours d'âge (environ 12.5 kg de poids vif), les porcs ont reçus *ad libitum* jusqu'à l'abattage des régimes non contaminé (groupe Témoin) ou bien dont les teneurs étaient légèrement inférieures à 0,5 mg de Cd (groupe Cd) et/ou 5 mg de Pb par kg d'aliment (groupes Pb, Cd+Pb) apportés sous forme de nitrate de cadmium ou de plomb. Les 3 régimes préparés pour chaque phase : 2ème âge (27 j), croissance (41 j) et finition (50 j) contenaient de la phytase et respectaient les recommandations habituelles en énergie, acides aminés ainsi qu'en Cu, Zn, Ca, P, vitamines A et D. Les porcs ont tous été abattus le même jour (soit à 160 jours d'âge et 106 kg de poids vif). Les reins et les foies ont été collectés et des prélèvements de muscle *Semimembranosus* ont été réalisés sur les carcasses. Les concentrations en Cd, Pb ont été déterminées par AAS, et certains échantillons ont fait l'objet d'une 2ème analyse par AAS/ICP-MS.

Résultats et discussion

L'exposition alimentaire des animaux est calculée à l'aide de l'analyse des différents aliments (ETAAS/ICP) et des consommations totales d'aliment par période (Tableau 1). Compte tenu des quantités ingérées par les animaux et de la durée relative de la phase de finition, celle-ci correspond à 50 à 60 % des quantités totales d'éléments métalliques consommés.

Tableau 1 Consommation par phase et totale en Cd et Pb (mg/porc)

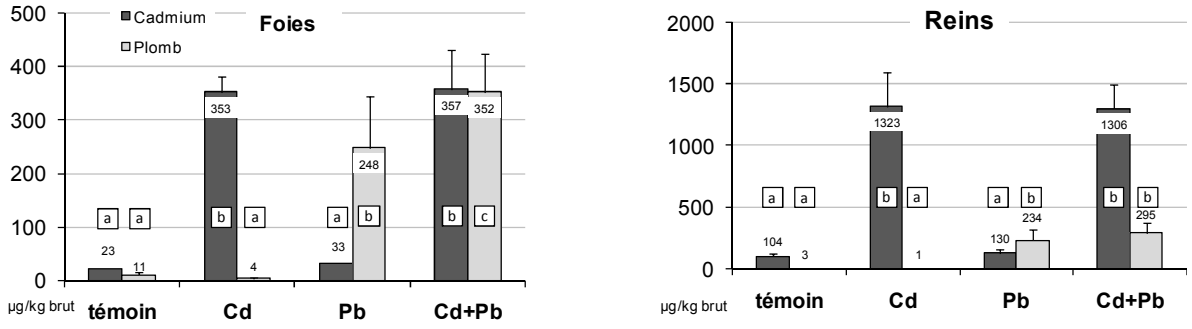
	Témoin	Cd	Pb	Cd+Pb
2ème âge (27 jours)				
Cd	1	9	1	10
Pb	3	4	108	143
Croissance (41 jours)				
Cd	4	24	4	32
Pb	3	5	393	398
Finition (50 jours)				
Cd	5	37	5	39
Pb	11	36	564	812
Période expérimentale totale (118 jours)				
Cd	9	70	10	81
Pb	17	45	1065	1353

Des concentrations élevées en cadmium ou en plomb apparaissent dans les foies des porcs ayant consommé ces deux éléments (Figure 1), mais tous les échantillons sont inférieurs à la limite réglementaire de 500 µg de Cd ou Pb par kg de poids frais (Règlement CE 1881/2006). Les teneurs moyennes en Cd des foies des groupes Cd et Cd+Pb sont proches, alors qu'en lien avec une moindre consommation d'aliment des porcs Pb lors de la phase finition, la teneur moyenne du foie en Pb pour ces derniers est légèrement plus faible que celle des porcs Cd+Pb.
Les reins des porcs exposés au plomb ont des concentrations en Pb inférieures à la limite réglementaire de 500 µg/kg. Par contre tous les reins des porcs des groupes Cd et Cd+Pb sauf un dépassent le seuil actuel pour le

cadmium dans les reins (1000 µg/kg). Les mesures d'éléments métalliques dans le *Semimembranosus* des porcs exposés au Cd ou au Pb sont toutes inférieures à nos limites de quantification soit 5 µg de Cd et 1 µg de Pb par kg. Ces valeurs sont inférieures aux seuils réglementaires de 50 µ de Cd ou 100 µg de Pb par kg dans la viande.

Les porcs non exposés au Cd ou Pb dans notre étude ont des concentrations faibles dans le muscle et les abats, proches de celles habituellement constatées. Les teneurs moyennes en Cd et Pb ainsi rapportées en France par l'étude d'alimentation totale sont respectivement de 1 et 4 µg par kg de viandes de boucherie, et de 52 et 55 µg pour l'ensemble des abats (Leblanc, 2004). L'accumulation du cadmium dans les tissus des animaux est influencée par les autres minéraux présents dans leur alimentation (EFSA, 2004). A cet égard, les pratiques d'alimentation dans l'étude sont celles classiquement appliquées en France: nombre d'aliments, taux de protéines, teneurs réduites en cuivre et zinc, incorporation de phytase microbienne. Or, cette dernière renforce la rétention du cadmium par l'animal (Zacharias *et al*., 2001). Par contre, le travail réalisé avec un dispositif proche a montré l'équivalence entre une origine minérale et une origine végétale du cadmium quant au dépôt obtenu dans les reins (Royer et Lebas, 2010)

Figure1 : Teneurs en cadmium et plomb dans les foies et les reins.



Des lettres différentes pour chaque couple organe/élément indiquent une différence significative à 5% (test SNK)

Conclusion

Dans les conditions actuelles d'alimentation des porcs, l'exposition continue à une teneur proche des limites réglementaires pendant la totalité de la période d'élevage se traduit par des concentrations des reins en Cd supérieures aux recommandations pour la consommation humaine (1000 µg/kg), alors qu'il n'ait pas constaté de dépassement pour le plomb ou dans les foies. Aux niveaux d'exposition testés dans cette étude, la concentration mesurée dans le muscle est restée faible.

Références bibliographiques

Commission européenne, 2000-2008. Staff working paper on the implementation of national residue monitoring plans in the member states. Rapports annuels, http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/index_en.htm.
EFSA, 2004. Scientific opinion on cadmium in animal feed. The EFSA Journal, 72, 1-24.
EFSA, 2009. Scientific opinion on cadmium in food. The EFSA Journal, 980, 1-139.
EFSA, 2010. Scientific opinion on lead in food. The EFSA Journal, 8(4):1570, 1-147.
Leblanc J.C. (coord.), 2004. Etude de l'alimentation totale française. Mycotoxines, minéraux et éléments traces. INRA-DGAL (Ed.), 68 p.
Mircovitch C., 2005. Résidus dans la viande de porc. Résultats des plans français de 2000 à 2003. Techniporc, 28 (3), 23-26.
Royer E., Lebas N., 2010. Invloed van cadmiumconcentraties in minerale of plantaardige grondstoffen op deze gehaltes in bloed en nieren van vleesvarkens. Minisymposium nieuwe voedselveiligheidsrisico's, VLAG & Rikilt Wageningen UR, Wageningen, 23 juni 2010, poster.
Zacharias B., Lantzsch HJ, Drochner W., 2001. The influence of dietary phytase and calcium on the accumulation of cadmium in different organs of pigs. J. Trace Elem. Med. Biol., 15 (2-3), 109-114.

Remerciements

Cette étude a reçu le soutien financier du Ministère de l'Agriculture (programme CASDAR) et de l'Ademe. Les auteurs remercient le personnel de la station de Villefranche ainsi que S. Dauguet (Cetiom), N. Robert (Inpaq), J. Heroult (Université de Pau), G. Naturale (ABioC) et L. Denaix (Inra) pour l'aide apportée pendant l'étude.

Adhérence et adhésion de *Campylobacter* spp. à la surface d'une matrice carnée

Jaÿ Maryne[1,2], Laroche Michel[1,2], Magras Catherine[1,2,3]
1. INRA, UMR 1014 SECALIM, 2. ONIRIS, Nantes, 3. Université Nantes Angers Le Mans, Site de la Chantrerie, BP 40706, 44307 Nantes cedex 3

Introduction

Campylobacter, premier agent incriminé dans les maladies infectieuses d'origine alimentaire en Europe (EFSA, 2010), constitue un danger avéré associé à la consommation de viande de porc (Fosse et *al.*, 2008). Les notes de risque moyennes calculées, pour les viandes de porc, placent en Europe le risque *Campylobacter* spp. au troisième rang des dangers zoonotiques alimentaires derrière les salmonelles et *Yersinia enterocolitica*.

La caractérisation du statut de contamination des viandes montre une contamination initiale des carcasses qui peut intervenir à l'abattoir à partir du contenu digestif des animaux (Fosse et *al.*, 2008, Laroche et *al.*, 2008). Si sur les carcasses d'une même espèce animale, une espèce de *Campylobacter*, *coli* ou *jeuni* peut être majoritairement isolée (Mégraud et *al.,* 2004, Minvielle et *al.*, 2007), sur les produits carnés de nombreuses souches de l'espèce *coli* et d'autres espèces de *Campylobacter* thermotolérants sont aussi mises en évidence (Laroche et *al.*, 2008, Pezzotti et *al.*, 2003). Cette diversité des espèces et des souches identifiées sur les matrices carnées amène l'hypothèse de contaminations croisées à partir de sources secondaires, inertes (matériel, surfaces) ou carnées (autres viandes).

Si la capacité de *Campylobacter* à survivre sur la matrice carnée au long de la chaîne de production est décrite (Laroche et *al.*, 2004) en revanche, sa capacité à adhérer plus ou moins réversiblement aux matrices est beaucoup moins étudiée. L'adhérence des bactéries peut être définie comme un phénomène réversible alors que l'adhésion est irréversible. Or l'adhérence peut conditionner le potentiel de transfert d'une bactérie à d'autres surfaces (Fravalo et *al.*, 2009). Il est décrit des différences de capacité des espèces *jejuni* et *coli* en essais expérimentaux sur surface inerte (Sulaeman et *al.*, 2010). Ces différences s'expriment elles aussi sur les matrices carnées ?

Notre objectif était de décrire en s'inspirant des travaux de Warriner et *al.* (2001), l'adhérence et l'adhésion de dispersions de *Campylobacter* inoculées à la surface d'une matrice carnée « modèle » dans différentes conditions.

Matériel et Méthodes

Quatre souches, 1 de référence et 1 sauvage pour chacune des 2 espèces *C. jejuni* et *C. coli*, ont été testées.
La matrice carnée « modèle » retenue est de la couenne de porc (longe) provenant du commerce local. Cette matrice est un « bon » modèle de matrice carnée car elle est non stérile mais relativement stable, et elle permet le meilleur rendement de récupération de *Campylobacter* avec les techniques à ce jour disponibles pour sa détection en matrice alimentaire complexe (Fosse et *al.,* 2006). Par analogie avec les études conduites en abattoir, l'échantillon réalisé est un carré de 5 cm de côté découpé dans la longe. L'inoculum, 0,1 mL d'une dispersion de *Campylobacter* dans de l'eau physiologique, est déposé à la surface soit en 9 à 10 gouttes non concentriques, soit avec un étalement à l'oese. La survie de *Campylobacter* dans l'inoculum au long des manipulations ainsi que le statut de contamination des couennes achetées (Flore totale, *Campylobacter*) ont été contrôlés. Le temps de contact de l'inoculum sur l'échantillon (10^5 à 10^7 UFC/échantillon) est de 10 minutes ou 2 heures, à 25 °C. A l'issue, un rinçage à l'eau "claire" de la surface de l'échantillon ou un épongeage superficiel à l'aide d'un carré de papier Wathman 3MM® a été réalisé (« première récupération »). Puis le papier et l'échantillon lui-même (la couenne) ont été ensuite séparément stomachés pendant 1 minute avec 10 mL d'eau physiologique.

Nous considérons donc 3 compartiments contenant potentiellement des campylobacters : le rinçat, le papier, l'échantillon rincé ou épongé. La population de bactéries présentes dans ces compartiments a été mesurée par un dénombrement, pour *Campylobacter* sur gélose Karmali à 42 °C en atmosphère microaerophile et sur PCA à 30 °C pour la flore mésophile totale. Trois fractions de la population bactérienne sont ensuite calculées : **F1** fraction recouvrée par l'épongeage (libérée du papier par stomachage) ou par le rinçage, **FS** fraction dénombrée libérée par stomachage sur la couenne rincée ou épongée et **NR** non récupérée, fraction fortement adhérée estimée par différence entre la quantité inoculée et les différents compartiments dénombrés. Le traitement des résultats a été réalisé avec le tableur Excel et le logiciel XLStat 2010 (Adinsoft, Paris).

Résultats et discussion

Un total de 79 échantillons fournit des résultats exploitables, regroupés dans le tableau 1. Nous devons tout d'abord souligner le fait que la succession d'un rinçage ou d'une absorption, suivi d'un stomachage de l'échantillon lui-même conduit à des dénombrements de proportions comparables de *Campylobacter* par rapport aux quantités inoculées. Les taux de recouvrement obtenus, de l'ordre de 75 % en moyenne, sont supérieurs aux 60 % obtenus précédemment par

stomachage dans de l'eau peptonnée après 1 nuit à 4 °C par Fosse et al. (2006). Cette différence, limitée, ne doit pas être attribuée à des problèmes de survie de la bactérie mais à une implantation des campylobacters sur la matrice.

L'analyse de Variance ne met pas en évidence de variation significative liée à la souche (ou à l'espèce) considérée. L'étalement de la dispersion de campylobacters à la surface de l'échantillon, et à un degré moindre l'augmentation de la durée de contact, entraîne une augmentation, plus ou moins forte, de la fraction FS dénombrée après stomachage. Cette augmentation montre une "adhésion" liée à une implantation de *Campylobacter* sur la surface carnée. Il apparaît des différences entre *Campylobacter* et la flore totale (Tableau 1). Les interactions entre les deux flores ne semblent pas influencer significativement, dans les délais de contact étudiés, les capacités d'adhérence ou d'adhésion de *Campylobacter*.
Malgré quelques variations, le rinçage à l'eau par rapport à l'absorption par le papier récupère moins de bactéries depuis la surface carnée contaminée, aussi bien pour les campylobacters que pour la flore mésophile totale.

Tableau 1 : Valeurs moyennes par rapport à la quantité inoculée pour les fractions **NR** (non récupérée)**, FS** (libérée par stomachage) **et F1** (1ère méthode de récupération) pour *Campylobacter* et proportion de la quantité totale dénombrée libérée par les stomachages pour *Campylobacter* (**SCamp**) et pour la flore mésophile totale (**SFMT**)

Variables	Modalités	Effectifs	Fractions / *Campylobacter* inoculés			Proportion / dénombrée libérée par stomachage	
			NR	FS	F1	SCamp	SFMT
Méthode 1ère	Papier	35	0.260	0.116	0.624	0.194	0.481
récupération	Rinçage	44	0.231	0.315	0.454	0.386	0.618
Probabilité de l'effet			0.82	**0.012**	0.15	**0.0015**	**<0.0001**
Temps	Court 10 min	40	0.270	0.172	0.558	0.206	0.541
d'attente	Long 2 h	39	0.221	0.259	0.520	0.374	0.559
Probabilité de l'effet			0.71	0.26	0.74	**0.005**	0,53
Mode	Etalement	47	0.254	0.377	0.369	0.464	0.530
d'inoculation	Gouttes	32	0.238	0.054	0.708	0.116	0.570
Probabilité de l'effet			0.91	**0.0001**	**0.005**	**<0.0001**	0.16

Conclusions

Dans ces expériences, nous caractérisons 3 niveaux d'adhérence de *Campylobacter*, *coli* comme *jejuni*, à notre matrice carnée « modèle » contaminée en surface. Quelles que soient les procédures utilisées (rinçage, absorption) d'une contamination focale ou étendue, les différences observées lors de la première récupération des bactéries entre le rinçage et l'épongeage sont compensées par le stomachage de la matrice inoculée rincée ou épongée. Cependant un quart environ de la population de campylobacters inoculés n'est pas « détachable » de la surface de la matrice carnée contaminée avec les méthodes classiquement utilisées pour détecter cette bactérie. Cette part non récupérable peut être un estimateur de la capacité d'adhésion de *Campylobacter* à la matrice. Néanmoins il faut poursuivre l'analyse par les techniques de biologie moléculaire de ces échantillons pour évaluer la mortalité éventuelle des bactéries.

Sur un plan pratique, ces travaux confirment des différences de comportement entre la flore totale et *Campylobacter* et les limites de l'utilisation d'un rinçage de surface pour réduire le risque sanitaire lié aux contaminations d'origine digestive (réduction d'un demi-log et dispersion de bactéries sur une surface plus large, résultats non présentés). Ces limites doivent tout particulièrement être prises en compte pour un danger qui survit en conditions de réfrigération domestique des viandes et dont la dose infectante pour l'homme est faible.

Références bibliographiques

EFSA, 2010 http://www.efsa.europa.eu/fr/scdocs/scdoc/1496.htm
Fosse J., Laroche M., et al., 2006. Journal of Food Protection **69**(9): 2100-2106.
Fosse J., Oudot N., et al., 2008. Epidémiologie et santé animale **53**: 57-71.
Fosse J., Seegers H., Magras C. 2008. Rev. sci. tech. Off. int. Epiz, **27** (3), 643-655
Fravalo P., Laisney M.-J., et al. 2009. Journal of Food Protection **72**: 1836-1840.
Laroche M., Kaiser J., et al., 2004. http://www.office-elevage.fr/vpc/10jsmtv/com-05-02.pdf.
Laroche M., Minvielle B., et al., 2006. http://www.office-elevage.fr/vpc/11jsmtv/11JSMTV-H-COM4.pdf
Laroche M., Desmonts M.H., et al., 2008. http://www.office-elevage.fr/vpc/12jsmtv/articles/16-PO-HS-05.pdf
Mégraud F., Bultel C., et al., 2004. http://www.afssa.fr/Ftp/afssa/22208-I.pdf AFSSA: 96 pp.
Minvielle B., Magras C., et al., 2007. Safe pork, Verona, 9-11 may (ISBN 978-88-6129-083-9): 145-148.
Pezzotti G., Serafin A, et al. 2003. International Journal of Food Microbiology **82**: 281-287.
Sulaeman S., Le Bihan G., et al., 2010. Journal of Applied Microbiology 108(4): 1303-1312.
Warriner K., Eveleigh K., et al., 2001. Jounal of Food Protection **64**(4): p. 493-497.

Remerciements à Florence Jugiau et Florence Rama pour leur assistance technique.

Comparaison des apports de deux méthodes d'analyse des données à l'évaluation de la contamination bactérienne de viandes dans le cas de viandes de gros gibiers sauvages.

Jeanne-Marie Membré[1,2], Michel Laroche[1,2], Catherine Magras[1,2,3]
1. INRA, UMR 1014 SECALIM, 2. ONIRIS, Nantes, 3. Université Nantes Angers Le Mans
Site de la Chantrerie, BP 40706, 44307 Nantes cedex 3

Introduction

Après l'identification des dangers bactériens pour les viandes de gros gibier, une première étude (Poignet 2006, Magras *et al.*, 2008) nous a permis de caractériser le statut de contamination - prévalence, niveau de contamination, localisation - de viandes de biche-cerf (*Cervus elaphus*), au stade de l'Unité de Vente Consommateur, vis-à-vis de trois indicateurs de la contamination bactérienne de deux origines, soit digestive animale : *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* ; soit cutanée animale et humaine : les staphylocoques coagulase positive. Dans la poursuite de cette étude, les résultats obtenus sur des pièces entrant en atelier de transformation nous ont conduit à une réflexion plus générale sur la signification des résultats bactériologiques et sur les exploitations numériques des données obtenues.

Matériel et Méthodes

***Prélèvements* :** Nous considérons ici un total de 1370 prélèvements réalisés, pour des viandes de biche (*Cervus elaphus*, B, n = 602), chevreuil (*Capreolus capreolus*, C, n = 518) et sanglier (*Sus scrofa* S, n = 250), en surface de cuisse (J, n = 548) ou d'épaule (A, n = 822), pouvant être présentés sous forme réfrigérée (F, n = 743) et sous forme congelée (C, n = 627). Une « pièce » est définie et codée par la combinaison des 3 informations retenues, par exemple la pièce « cuissot de chevreuil congelé » sera codée CJC. Les analyses bactériologiques, réalisées à partir de prélèvements en surface de 25 cm², respectaient les préconisations des normes NF et / ou ISO en vigueur mais les plages de détection ont été élargies afin de permettre des dénombrements entre 4 et 60 000 UFC/cm².
Logiciels utilisés : La compilation de données a été effectuée avec le tableur Excel, l'analyse exploratoire de données avec le logiciel XLstat 2010 (Adinsoft, Paris) et l'estimation des niveaux de contamination via une approche Bayesienne avec le logiciel Winbugs (version 1.4.3, Medical Research Council, UK).
***Exploitation des résultats* :** Le premier niveau d'exploitation des données, le plus généralement utilisé, est le calcul d'une prévalence, par la proportion d'échantillons présentant une contamination supérieure au seuil de détection. Un deuxième niveau consiste à caractériser la contamination par la prévalence et le niveau moyen de contamination des échantillons positifs. Tous ces estimateurs restent liés à un seuil de détection (figure 1). Or ce seuil correspond à un niveau de détection de la contamination susceptible de varier avec la sensibilité et la spécificité des méthodes mises en oeuvre. Pour tenir compte de l'ensemble des échantillons analysés, il est possible de regrouper les valeurs observées des échantillons par classes, ce qui correspond schématiquement à un arrondi grossier des valeurs mais peut permettre également des calculs approximatifs de la contamination moyenne.
Pour passer de l'histogramme à la distribution continue, une approche Bayesienne permet d'inclure l'ensemble des données dans une seule analyse, en considérant que les données observées sont issues d'échantillons représentatifs d'une population statistique pour laquelle il est possible d'estimer à la fois la moyenne et l'écart-type (sous l'hypothèse d'une distribution normale). Les données hors de la zone de dénombrement sont intégrées sous forme de données censurées.

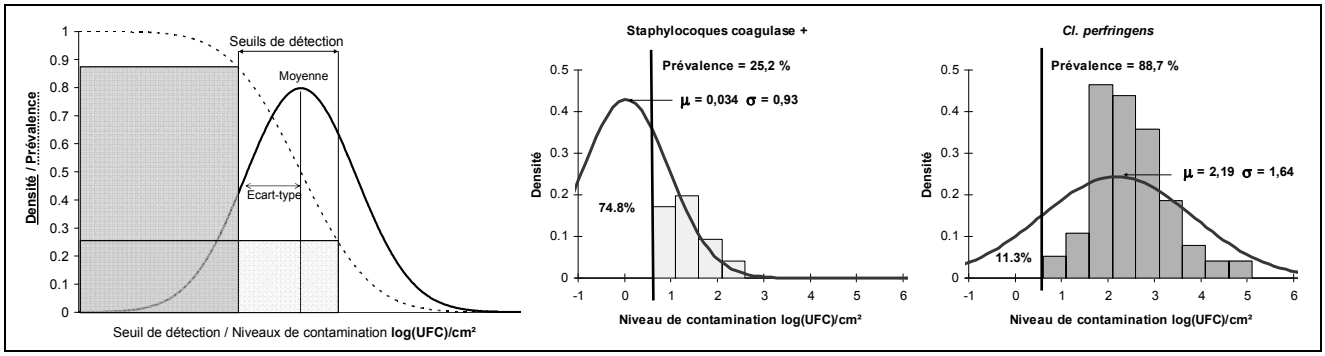


Figure 1 : Exemples de relation entre prévalence, seuil de détection et niveau de contamination, dans le cas du cuissot de chevreuil congelé (CJC, n = 151), pour 2 des indicateurs considérés. Courbes théoriques et distributions observées.

Résultats et discussion

Les caractéristiques de la distribution de la contamination calculées pour chaque pièce sont regroupées dans le tableau I. Les valeurs moyennes varient en fonction de l'espèce, de la pièce et du mode de conservation, les écart-types sont très importants et l'ANOVA ne met pas en évidence d'effet significatif. Nous pouvons remarquer que si pour *Escherichia coli* toutes les moyennes sont supérieures au seuil de détection, elles sont toutes inférieures pour les staphylocoques.

Tableau I : Moyenne (μ) et écart-type (σ), en log(UFC)/cm², calculés pour chaque pièce et pour chacun des 3 indicateurs testés. Le code Pièce correspond - à l'espèce (B : biche, C : chevreuil, S : sanglier), - au morceau (J = cuisse, A = épaule) et - à la présentation (C : congélée, F : réfrigérée). N nombre d'échantillons analysés pour la pièce donnée.

Pièce	BAC	BAF	BJC	BJF	CAC	CAF	CJC	CJF	SAC	SAF
N	150	172	131	149	95	155	151	117	100	150
Staph.c+	-0,67	0,48	0,29	-0,40	-0,09	-0,19	0,03	0,53	-0,41	0,40
σ	0,94	0,93	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,94	0,95	0,94
Cl.perf μ	1,30	0,46	1,71	-0,19	1,17	1,03	2,19	1,85	1,66	-0,21
σ	1,63	1,65	1,66	1,64	1,64	1,64	1,64	1,67	1,66	1,64
E.coli μ	1,28	2,00	2,26	1,02	1,41	1,90	2,71	2,23	1,50	0,62
σ	1,38	1,37	1,39	1,39	1,38	1,39	1,39	1,39	1,40	1,38

Nous avons représenté les estimateurs traditionnels en fonction des valeurs moyennes calculées pour chaque indicateur (Figure 2). Les droites de régression pour les différents estimateurs sont également représentées. Les résultats obtenus par l'approche Bayesienne sont bien reliés aux estimateurs traditionnels. Les valeurs relatives des coefficients de corrélation montrent l'intérêt des classes pour prendre en compte la totalité des échantillons, même ceux considérés comme négatifs compte tenu du seuil de détection, valeur susceptible de varier en fonction des méthodes utilisées.

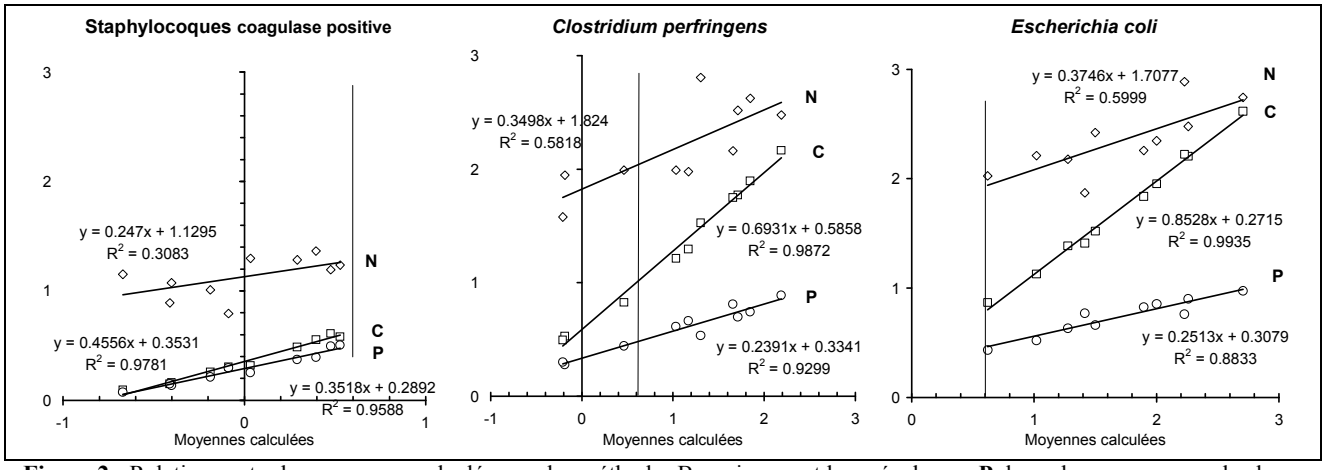


Figure 2 : Relations entre les moyennes calculées par les méthodes Bayesiennes et les prévalences **P**, les valeurs moyennes de classe **C** et le niveau moyen de contamination des échantillons positifs **N** pour les 3 indicateurs. Seuil de détection 0,6 log/cm²

Conclusions

Les fortes variations individuelles des niveaux de la contamination bactérienne des viandes de gibier sont fréquemment rapportées quels que soient les indicateurs analysés (Decastelli et *al.*, 1995, Paulsen et Winkelmayer 2004, Atanassova et *al.* 2008), et les dispersions observées dans nos expèriences sont telles que des facteurs introduits par le plan d'échantillonnage n'ont pas d'effets statistiquement significatifs sur les niveaux de contamination. L'origine de ces variations est à rechercher dans les pratiques de chasse et les conditions de traitement *post-mortem*.

Les 2 méthodes d'analyse des données utilisées pour évaluer la contamination bactérienne des viandes conduisent à des résultats comparables, mais différents dans leur possibilités d'utilisation. Les critères microbiologiques (réglementaires ou commerciaux, cahiers des charges), lorsqu'ils existent (ce n'est pas le cas pour les viandes de gibier), correspondent directement aux estimateurs traditionnels fréquence et/ou niveau de contamination. Dans l'évolution vers une appréciation quantitative du risque pour le consommateur, la caractérisation de la contamination par une distribution devient indispensable, et il est nécessaire d'introduire également les conditions de préparation des produits, dont les conséquences sont différentes pour un ragoût de sanglier, un rôti de biche saignant ou un carpaccio de chevreuil.

Références bibliographiques

Atanassova V., Apelt J., Reich F., Klein G., 2008. *Meat Science* **78**(4): 414-419.
Decastelli L., Giaccone V., Mignone W., 1995. IBEX Journal of Mountain Ecology 3, 88–89
Magras C., Poignet B., Laroche M. 2008. http://www.office-elevage.fr/vpc/12jsmtv/articles/15-CO-HS-02.pdf .
Paulsen P., Winkelmayer R. 2004. Eur J Wildl Res., **50** : 157-159.
Poignet B., 2006. Thèse Medecine Vetétérinaire, Nantes. N-2006-140. 186 pp.

Remerciements aux industriels de la filière et au Syndicat National du Commerce Extérieur des produits congelés et surgelés qui ont initié, financé et largement contribué aux prélèvements. Au Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, pour son soutien financier.

RMT 09 : LES FLORES PROTECTRICES POUR LA CONSERVATION DES ALIMENTS : UTILISATION, EFFICACITE ET INTERACTIONS DANS L'ECOSYSTEME MICROBIEN ACRONYME : « FLOREPRO »

RIVOLLIER M.[3], ACHI-BARNOUIN T. [1], CHAMPOMIER-VERGES M. [2], COTON E. [4], DENIS.C [4], , HAMON E.[6], IRLINGER F.[7], LEROI F.[9], LEROY S.[10], MONTEL M.C.[11], PILET M.F.[12], SPINNLER E.[13], STAHL.V.[6], TALON R.[10], WACOGNE D.[14], ZAGOREC M.[2], FEURER C.[5], JAMET E.[8], CHRISTIEANS S. [3]

[1] Etablissement d'enseignement agricole Louis Pasteur. B.P. Marmilhat
[2] INRA (Institut scientifique de Recherche Agronomique)- Unité FLEC- Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en Josas Cedex
[3] ADIV ASSOCIATION – 10, Rue Jacqueline Auriol, ZAC Parc Industriel des Gravanches, 63039 Clermont-Ferrand
[4] ADRIA NORMANDIE 370 rue Popiélujko, 50 009 Saint Lô
[5] IFIP (Institut de la Filière Porcine) - 7 Avenue du Général de Gaulle, 94700 Maisons Alfort
[6] Aérial- Parc d'Innovation Rue Laurent Fries BP 40443 F, 67412 Illkirch Cédex
[7] INRA UMR GMPA-Avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval Grignon
[8] ACTILAIT- 42, rue de Châteaudun. 75 009 Paris
[9] Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer)- 155, rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy-les-Moulineaux
[10] INRA- Clermont-Theix, 63122 Saint-Genes-Champanelle
[11] INRA- Aurillac- 20 Côte de Reyne, 15000 Aurillac
[12] ONIRIS- Rue de la Géraudière, 44300 Nantes
[13] AgroParisTech UMR GMPA- 16 rue Claude Bernard F-75231 Paris Cedex 05
[14] HALIOMER- 15, 17 Rue de Magenta, 62200 Boulogne-sur-Mer

Résumé – Objectifs

L'utilisation des bactéries comme agents naturels de bio-conservation (cultures protectrices) capables de maîtriser l'écosystème des denrées alimentaires aux dépens des espèces indésirables (flores pathogènes et d'altération) représente une technologie à la fois émergente, innovante et complexe. Ce caractère innovant explique l'affichage de cette thématique dans les programmes de la plupart des grands instituts de recherches en alimentation en Europe, au Canada et aux Etats-Unis et elle est désormais parfaitement intégrée dans les projets Européens (SeafoodPlus, TrueFood & ProSafebeef). Cependant, malgré l'intérêt suscité par ce type de flores pour optimiser et sécuriser la conservation des aliments qu'ils soient fermentés ou non fermentés, les applications industrielles restent rares, pour différentes raisons :

- Le manque de recul sur l'efficacité des flores protectrices lorsqu'elles sont testées en conditions réelles dans les matrices alimentaires
- Les difficultés techniques de suivi d'implantation et de croissance des flores protectrices dans un aliment
- Le manque de données scientifiques permettant une meilleure compréhension des mécanismes actifs mis en jeu et des mécanismes d'interaction des flores protectrices à l'égard de l'écologie propre à chaque matrice.
- L'hétérogénéité des approches développées pour étudier l'impact des flores protectrices vis-à-vis des flores pathogènes, d'altérations ou indicatrices d'hygiène.
- Le manque d'informations sur la réelle attente des industriels ainsi que la perception des consommateurs en matière de cultures bioprotectrices.
- Une réglementation européenne encore floue pour la définition du statut des flores protectrices.

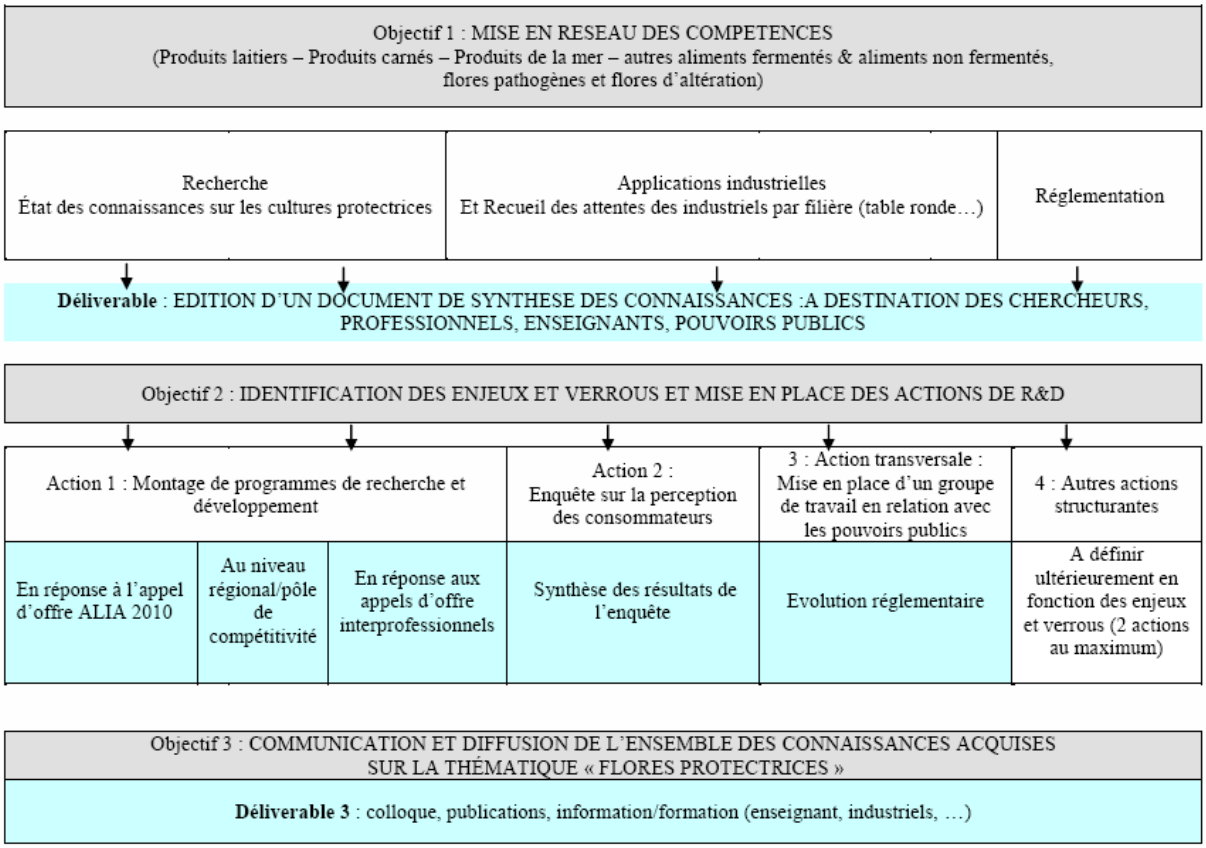
Dans ce contexte, la mise en place d'un Réseau Mixte Technologique sur les « Flores protectrices » est un moyen innovant pour fédérer un groupe d'experts avec une reconnaissance nationale autour de cette thématique. La pertinence de ce réseau repose sur la collaboration entre les 3 filières agroalimentaires principales (produits carnés, produits fromagers et produits de la mer).

Au travers de ce RMT, les organismes de recherche et les centres techniques travaillant sur la thématique pourront échanger et valoriser leurs compétences acquises au cours des dernières années de recherche et

participer avec les partenaires des autres filières à la diffusion des connaissances scientifiques et techniques auprès des industriels, des consommateurs et des pouvoirs publics.

L'objectif de ce réseau est donc d'apporter des éléments de réponse sur la maîtrise du procédé de bioprotection permettant une meilleure gestion de la qualité et du risque sanitaire des produits. En effet, quelle que soit la denrée alimentaire, la maîtrise du procédé de bioprotection requiert de disposer (1) d'un éventail de souches ou de cocktail de souches agissant par différents mécanismes inhibiteurs (2) d'une caractérisation fine des souches utilisables, (3) de leurs effets dans les produits (flaveur, texture..), (4) de leur innocuité, (5) de leur mode d'action (production de composés inhibiteurs, compétition nutritionnelle), (6) de l'activité bio-protectrice au sein de l'écosystème et des facteurs environnementaux propres à chaque matrice.

Pour atteindre les objectifs de ce RMT, le programme de travail établit par les partenaires est joint ci-dessous :



ACTIVITE ANTILISTERIA DE *PISTACIA LENTISCUS* ET *SATUREJA MONTANA* APPLIQÉES SUR LA VIANDE: EFFICACITÉ ET POTENTIEL SYNERGISTIQUE

DJENANE D.*[1], YANGÜELA J.[2], RONCALES P.[2]

[1]*Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques. Dpt.: Biochimie et Microbiologie. Université Mouloud Mammeri, Bastos, BP 17. 15000-Tizi-Ouzou. Algérie.*

[2]*Dpt.: Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Universidad de Zaragoza. C/ Miguel Servet, 177-50013. Zaragoza. Spain* * E-mail: djenane@unizar.es

Introduction: *L. monocytogenes* est très distribuée dans la nature et peut contaminer plusieurs types d'aliments. La Listériose est un des problèmes majeurs de santé publique, affectant préférentiellement les femmes enceintes, nouveaux nés voire même les immunodéprimés. Diverses stratégies sont appliquées pour le contrôle des pathogènes dans les viandes et plus particulièrement l'usage des huiles essentielles (HEs). Pendant cette dernière décennie, les HEs de plusieurs espèces végétales sont devenues populaires. Les tentatives de caractérisation de leurs molécules bioactives ont gagné du terrain pour une éventuelle application en agroalimentaire. L'activité antimicrobienne des HEs de plusieurs espèces végétales a été démontrée par différents travaux (Djenane et al., 2010; Ozkan et al., 2010). L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité des HEs de *P. lentiscus* et *S. montana* ainsi que leur combinaison vis-à-vis de *L. monocytogenes* inoculée dans la viande pendant le stockage au froid.

Matériels et méthodes.

Huiles essentielles: Les HEs de *P. lentiscus* et *S. montana* (Densité: 0,85 et 0,92 à 20ºC, respectivement) utilisées dans ce travail sont obtenues de la société FLORAME aromathérapie (St Rémy de Provence, France).

CG/SM: L'analyse par CG a été assuré par un appareillage Hewlett-Packard 6890 séries GC Systems (Agilent Technologies) couplée à un spectromètre de masse (model HP 5973) équipé avec HP5 MS colonne capillaire (5% phenyl methylsiloxane, 30 m×0.25 mm, 0.25 µm épaisseur du film) (CRAPC; USTHB, Alger). La composition de chaque huile a été standardisée selon le pic de chaque surface. Chaque valeur est la moyenne de deux injections successives pour chaque huile.

L. monocytogenes: La souche *L. monocytogenes* serovar 4b CECT 935a a été cultivée dans le milieu agar Mueller Hinton (MHA, Oxoid) pendant 18 heures à 37°C.

Méthode de diffusion sur gélose: L'activité antibactérienne des HEs a été déterminée par la méthode de diffusion sur gélose.

Méthode de Microdilution: La concentration minimale inhibitrice (CMI) des HEs a été déterminée par la méthode de microdilution.

Application dans la viande

***Préparation de la viande*:** Le muscle *Semimembranosus* (pH 5.7–5.8) est obtenu à partir des carcasses 48 h *post-mortem*. Des échantillons de viande hachée (50 g) sont placés dans des sachets stériles en plastique et inoculés avec *L. monocytogenes* (5×10^5 ufc/g). Les échantillons sont ensuite homogénéisés à l'aide d'un Stomacher pendant 2 min puis des HEs sont additionnées à 2×CMI de *S. montana* et *P. lentiscus* (0,06 et 0,2%, respectivement). En plus l'effet combinatoire des HEs a été aussi déterminé 1/1; 2/1; 1/2 et 2/2, respectivement pour *S. montana* et *P. lentiscus*. Tous les échantillons de viande ont été stockés à 2±1 ºC pendant 8 jours.

pH: Le pH de la viande a été déterminé en homogénéisant 3 g de viande dans 27 ml d'eau distillée pendant 10 s à 1300 tours/min. Chaque valeur est la moyenne de 3 répétitions.

Analyse microbiologique: à chaque prélèvement, 25 g de viande sont placés dans un sachet Stomacher en présence de 225 ml d'eau peptonée. L'ensemble est homogénéisé durant 2 min. Des dilutions décimales sont préparées. Le dénombrement de *L. monocytogenes* est déterminé dans l'Agar Listeria selon Ottaviani et Agosti (ALOA) à 37 ºC/24 h.

Résultats et discussion

Composition chimique: L'HE de *P. lentiscus* est caractérisée par la présence de fortes concentrations en *β*-myrcène (15%) et 1.8-cinéole (15%), respectivement. Cependant l'HE de *S. montana* est caractérisée par des fortes concentrations en carvacrol (29%), thymol (15%) et *p*-cymène (12%), respectivement. Les facteurs environnementaux tels la région géographique, température, durée d'ensoleillement, nutrition végétale, etc., sont considérés primordiaux pour déterminer le chemotype des HEs.

Activité Antimicrobienne in vitro: Les résultats de diffusion sur gélose et de la CMI (**Tableaux 1, 2**) indiquent que les deux HEs exercent une forte activité antibactérienne avec des valeurs de CMI inférieures (0,1% et 0,03% pour *P. lentiscus* et *S. montana,* respectivement). L'activité antibactérienne de ces HEs pourrait être attribuée à la présence à fortes concentrations de certains composés déjà connus par leur activité antibactérienne tels le, *p*-cymène, le *β*-myrcène, le 1.8-cinéole, le carvacrol et le thymol (De-Oliveira et al., 1997).

Tableau 1. Diamètres d'inhibition

	Diamètre d'inhibition autour du disque imprégné d'HE (mm)

	P. lentiscus	*S. montana*	*Chloramphenicol*
Listeria monocytogenes serovar 4b CECT 935	19,75±3,2	38,50±2,5	17,25±1,4

Tableau 2. Concentrations Minimales Inhibitrices

	CMI (%)(vol/vol)	
	P. lentiscus	*S. montana*
Listeria monocytogenes serovar 4b CECT 935	0,1±0,01	0,03±0,007

Activité Antimicrobienne sur la viande: Les figures 1et 2 résument l'activité antibactérienne exercée par chaque HE ainsi que leur combinaison à l'encontre de *L. monocytogenes*. En accord avec ces résultats (**Fig. 1**), les deux huiles ont montré une activité antilisteria. *S. montana* a démontré une forte activité antilisteria par rapport à *P. lentiscus*. Quand les deux HEs sont rajoutées individuellement à la viande, l'HE de *P. lentiscus* exerce une action bactériostatique tandis que l'action bactéricide a été observée avec *S. montana*. L'addition combinée de *P. lentiscus* (0,1%) et *S. montana* (0,03%) provoque une réduction significative de *L. monocytogenes* durant le stockage à 2±ºC (**Fig. 2**). La population de *L. monocytogenes* est maintenue inférieure à 5 log ufc /g durant le 6ème jour pour enfin décroitre jusqu'à 4,1 log à la fin de stockage. Cependant, la combinaison de *P. lentiscus* (0,2%) et *S. montana* (0,03) a permis une réduction de *L. monocytogenes* semblable à la combinaison 0,1%/0,03%, respectivement pour *P. lentiscus* et *S. montana*. Par contre une combinaison de 0,1% et 0,06%, respectivement pour *P. lentiscus* et *S. montana* a engendré une réduction significative de *L. monocytogenes* par rapport aux autres combinaisons. En effet, le nombre de *L. monocytogens* a été maintenu inférieur à 3 log ufc/g durant toute la période de stockage. Lorsqu'une combinaison de *P. lentiscus* (0,2%) et *S. montana* (0,06%) a été appliquée sur viande, la population de *L. monocytogenes* décroît pour atteindre 1,2 log ufc/g à la fin de stockage. Les HEs constituent un mélange complexe de molécules chimiques et par conséquent certains auteurs avancent l'hypothèse que l'effet biologique des HEs pourrait être le résultat d'une action synergique entre différentes molécules.

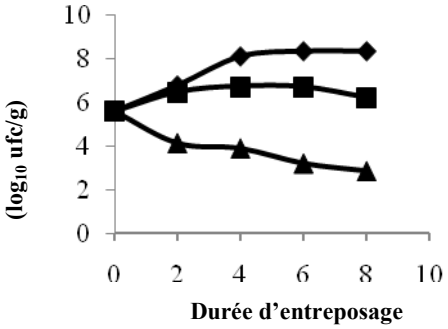


Fig. 1 : Inhibition de *L. monocytogenes* par *P. lentiscus* et *S. montana* dans la viande stockée à 2±1ºC
(♦) Control; (■) *P. lentiscus* (0,2%); (▲) *S. montana* (0,06%)

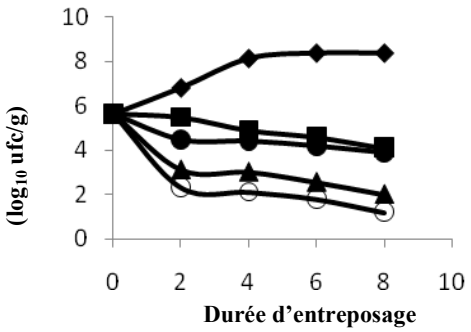


Fig. 2 : Inhibition de *L. monocytogenes* par combinaison de *P. lentiscus* et *S. montana* à différentes concentrations sur la viande stockée à 2±1ºC
(♦) Control; (■) *P. lentiscus* (0,1%)+*S. montana* (0,03%);
(●) *P. lentiscus* (0,2%)+*S. montana* (0,03%); (▲) *P. lentiscus* (0,1%)+ *montana* (0,06%); (○) *P. lentiscus* (0,2%)+*S. montana* (0,06%).

Conclusion: Les résultats obtenus concernant les profils chimiques des deux HEs et l'activité antibactérienne observée vis-à-vis de *L. monocytogenes* laissent croire que ces deux HEs pourraient être employéés comme un antilisteria potentiel dans la viande.

Bibliographie

Djenane D., Yangüela J., Amrouche T., Boubrit S., Boussad N., Roncalés P., 2010. Chemical Composition and Antimicrobial Effects of Essential Oils of *Eucalyptus globulus*, *Myrtus communis* and *Satureja hortensis* Against *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* in Minced Beef. J of Food Sci., (Submitted).

Ozkan G., Sagdic O., Gokturk R.S., Unal O., Albayrak S., 2010. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extract from Salvia pisidica. LWT - Food Sci and Technol., 43,186–190.

De-Oliveira A.C.A.X., Ribeiro-Pinto L.F., Paumgartten F.J.R., 1997. In vitro inhibition of CYP2B1 monooxygenase by b-myrcene and other monoterpenoid compounds. Toxicol. Lett., 92, 39–46.

Remerciements: Les auteurs remercient le Ministère des Affaires Extérieures d'Espagne pour avoir financé ce travail rentrant dans le cadre d'un accord programme entre Espagne et Algérie (grant ALI A/011170/07 and grant ALI A/019342/08 PCI/MED).

DEVELOPPEMENT D'UN MODELE TERTIAIRE POUR LA PREDICTION DE LA CROISSANCE DE *LISTERIA MONOCYTOGENES* ET *SALMONELLA* SPP. DANS LA VIANDE HACHEE DE PORC

DELHALLE L., ADOLPHE Y., JASICK A., DAUBE G., CLINQUART A.

Université de Liège – Faculté de Médecine Vétérinaire – Département des Sciences des Denrées Alimentaires

Sart Tilman B43Bis - 4000 Sart Tilman - Belgique

Introduction

La microbiologie prévisionnelle permet de mieux comprendre et de maîtriser les niveaux de contamination dans les aliments à risque (McMeekin, 2002). Des modèles primaires, secondaires et tertiaires sont utilisés pour modéliser le comportement des micro-organismes. Les modèles primaires consistent à suivre l'évolution de la concentration en micro-organismes au cours du temps dans un environnement donné. Les modèles secondaires permettent de décrire l'influence des facteurs environnementaux sur les paramètres primaires. Les modèles tertiaires utilisent des systèmes experts et des bases de données pour faire le lien entre les modèles primaires et secondaires. Le but de la présente étude est de développer un modèle tertiaire permettant de prédire les comportements de *Listeria monocytogenes* et *Salmonella* spp. dans la viande hachée de porc en fonction des conditions environnementales (température, pH et activité de l'eau (a_w)). Le principal défi est de programmer l'ensemble des modules constituant le modèle tertiaire tout en rendant son utilisation aisée et efficace.

Matériel et Méthodes

Pour constituer la base de données, des cinétiques de croissance microbiologique, appelées challenge-tests, ont été mesurées afin de suivre en conditions environnementales prédéfinies les agents pathogènes dans des viandes hachées artificiellement contaminées dans la masse. Les résultats des cinétiques de croissance ont été analysés afin d'estimer les taux de croissance maximum, les temps de latence, les concentrations initiales et les concentrations finales. Sur base de ces données, des modèles prédictifs ont été développés afin de simuler le comportement des agents pathogènes suite à des modifications des conditions environnementales.
Le modèle primaire utilisé est le modèle logistique avec délai de rupture. Ce modèle suppose qu'il n'y a pas de possibilité de croissance lors de la phase de latence et qu'il n'y a pas de transition entre la phase de latence et la phase exponentielle. Le modèle cardinal *(CM),* utilisé comme modèle secondaire pour le calcul de $\mu_{\max}$, est basé sur le principe que chaque effet environnemental peut être intégré dans une fonction par des facteurs multiplicatifs. L'équation suivante montre le CM incluant l'effet de la température, du pH et de l'a_w sur la vitesse de croissance optimale (μ_{opt}) (Rosso et al., 1995) :

$$\mu_{\max} = \mu_{opt} CM_2(T) CM_1(pH) CM_2(a_w)$$

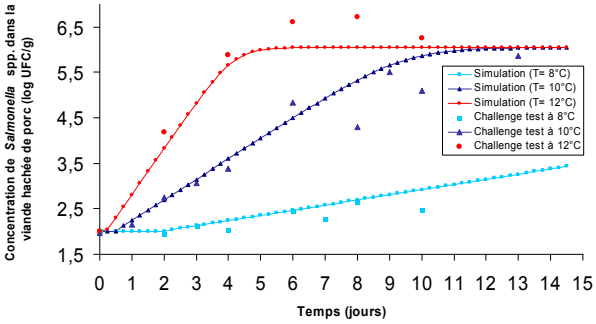
Dans l'approche suivie pour déterminer le temps de latence, il a été considéré que le temps de latence est proportionnel au temps de génération des bactéries et que celles-ci doivent réaliser une certaine quantité de travail pour s'adapter à leur nouvel environnement (Robinson et al., 1998). Il existe donc une corrélation entre le temps de latence et l'inverse du taux de croissance. Dans une approche cardinale, on peut déduire l'équation suivante (Le Marc, 2001) :

$$\lambda = \frac{\lambda_{\min}}{CM_1(T) CM_2(pH) CM_2(a_w)}$$

Les modèles primaires et secondaires ont alors été intégrés dans une interface de saisie programmée sous Microsoft Excel en relation avec la base de données regroupant les résultats des challenge-tests réalisés sur de la viande hachée de porc standardisée et contenant une flore totale aérobie résidente à 4,3 log ufc/g.

Résultats et discussion

Des simulations de la croissance de *Listeria monocytogenes* ainsi que de *Salmonella* spp sur la viande hachée de porc conditionnée sous film étirable ont été réaliseés à trois températures différentes. Les simulations de la croissance de *Listeria monocytogenes* et *Salmonella* spp ont été réalisées à partir des données de challenge-tests réalisés respectivement à 8 et 12°C. Les résultats issus des challenge-tests (n=6) pour ces pathogènes aux mêmes températures ont également été inclus à des fins de validation



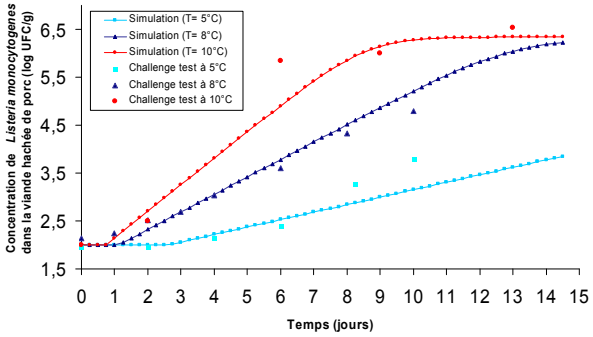


Figure 1 et 2 : Comparaison des résultats obtenus par simulation de la croissance respectivement de *Salmonella* spp. et *Listeria monocytogenes* sur de la viande hachée de porc avec les résultats obtenus lors de challenge-tests à 3 températures différentes (pH=5,9, a_w=0,99)

Les comparaisons des valeurs obtenues à partir des simulations et des données observées pour *Listeria monocytogenes* à 5, 8 et 10°C et pour *Salmonella* spp à 8, 10 et 12°C donnent respectivement des coefficients de détermination (r^2) de 0,94, 0,98 et 0,95 et de 0,80, 0,92 et de 0,98. Le modèle donne de bonnes prévisions du comportement des pathogènes en fonction des températures.
Suite à ces résultats on peut observer que les abus de température dans la chaîne du froid peuvent provoquer une augmentation substantielle de la concentration de ces germes pathogènes qui peuvent être présents dans la viande hachée de porc. Lorsque la température est égale à 5°C, la croissance de *Salmonella* est nulle mais pas celle de *Listeria monocytogenes*. La date limite de consommation (DLC) commerciale de ce produit étant de 3 jours, le risque d'ingestion d'une concentration élevée de *Listeria monocytogenes* est très faible si la température de conservation ne dépasse pas 5°C. Le risque est beaucoup plus important si la température atteint ou dépasse 8°C puisque les concentrations de *Salmonella* spp et de *Listeria monocytogenes* augmentent toutes deux de plus de 1 log ufc.

Conclusions et perspectives

La base de données constituant le modèle est en permanence alimentée par des résultats issus de challenge-tests sur la viande hachée de porc obtenus dans des conditions environnementales ou avec des germes pathogènes différents. De plus, une autre matrice alimentaire à base de viande de porc est actuellement à l'étude (boudin blanc). Les applications potentielles du modèle sont nombreuses aussi bien pour les industriels que pour les responsables de la gestion de la santé publique. On peut citer, entre autres, l'accélération de l'innovation via de nouvelles formulations ou de nouvelles conditions de conservation, la validation de la durée de vie d'un produit, le renforcement d'un plan HACCP d'une entreprise en permettant une simulation et un contrôle des points critiques ou l'optimisation de la chaîne du froid. Les simulations permettent de proposer des alternatives de gestion afin de garantir la sécurité sanitaire des produits mais également de maximiser la gestion et l'utilisation des outils de la chaîne de production.

Références bibliographiques

Le Marc, Y., 2001. Thèse présentée à l'Université de Bretagne occidentale, Brest.
McMeekin, T.A., Ross, T., 2002. Int. J. Food Microbiol. 78, 133-153.
Robinson, T.P., Ocio, M.J., Kaloti, A., Mackey, B.M., 1998. Int. J. Food Microbiol. 44, 83-92.
Rosso, L., Lobry, J.R., Bajard, S., Flandrois, J.P., 1995. Appl. Environ. Microbiol. 61, 610-616.

Remerciements

Project financé par la Région Wallonne (DGO6, Convention n°5713, 2008-2011). Pour plus d'informations : http://www.wagralim.be/consalim.php.

INCIDENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT SUR LA DUREE DE VIE DE LA VIANDE DE PORC EN UVCI (POSTER N° 1/2)

BOZEC A.[1], ZULIANI V.[1], ELLOUZE M.[2], LE ROUX A.[1]

[1] IFIP, La motte au Vicomte 35651 LE RHEU, [2] IFIP, 7 av du Général de Gaulle 94704 Maisons-Alfort

Introduction

Cette étude propose une démarche originale afin d'évaluer l'impact du conditionnement sur l'altération microbiologique de côtes de porc en UVCI = unités de vente de consommateur "industrielles. Il s'agit d'étudier l'influence du gaz présent à l'intérieur de la barquette sur les Entérobactéries, les *Pseudomonas* et de la flore lactique. La comparaison et le suivi de deux modes de conditionnement (sous film et sous atmosphère) a permis de caractériser l'évolution des paramètres physico-chimiques et le comportement de flores d'altération. Les résultats expérimentaux de cette étude ont été extrapolés à d'autres scenarii thermiques via le logiciel Sym'Previus (poster 2/2).

Matériel et méthode

Trois lots d'UVCI de côtes de porc, conditionnées sous air ou sous atmosphère modifiée (70% O2 – 30% C02), ont été réceptionnés au laboratoire de microbiologie de l'Ifip. Les lots ont été utilisés afin d'évaluer l'impact de l'environnement gazeux sur l'altération bactériologique des côtes de porc conservées à 8°C. Pour cela, l'évolution de la contamination de bactéries d'altération de la viande a été mesurée au cours du temps. Les bactéries ont été dénombrées selon les normes AFNOR en vigueur : NF V04-504 pour les *Pseudomonas*, NF V08-054 pour les Entérobactéries et NF ISO 15214 pour la flore lactique. A chaque point d'analyse, les dénombrements bactériens ont été réalisés sur trois échantillons de chacun des lots. Le pH de surface et l'aw (Norme ISO 21807) des produits ont été mesurés à l'aide d'un pH-mètre Orion 210A CG 818 combiné à une sonde plate 90413 Bioblock Scientific et d'un Awmètre Aqualab. Enfin, des analyses de gaz (%O2 et %CO2) ont également été effectuées (Checkmate 9900, PBI DanSensor).

Résultats et discussion

L'étude physico-chimique montre que le pH, l'aw ainsi que la composition du mélange gazeux des UVCI évoluent significativement tout au long de leur conservation. Le pH de surface, initialement proche de 5,4, augmente de manière significative au cours du temps, lorsque les UVCI sont conservées sous film alors que ceci n'est pas observé pour les UVCI conditionnées sous gaz. Cela s'explique par la nature des réactions mises en œuvre lors de la conservation. En effet, le pH de la viande est la conséquence des réactions enzymatiques des cellules bactériennes et des réactions enzymatiques des cellules musculaires qui dépendent de l'environnement gazeux. Ainsi, lors d'un conditionnement sous air, la flore lactique sera représentée par des genres qui synthétisent moins d'acide lactique que les genres capables de se développer en conditionnement sous gaz. Il en résulte un pH plus élevé dans les conditionnements sous film par rapport aux conditionnements sous gaz. L'environnement gazeux aurait moins d'impact sur l'aw. Initialement comprise entre 0,992 et 0,994, l'aw évolue de manière aléatoire au cours du temps sans qu'aucune différence ne soit observée en fonction de l'environnement gazeux utilisé. Enfin, les analyses de gaz montrent que la composition théorique du mélange gazeux (70% d'O_2 et 30% de CO_2) évolue au cours du temps avec une diminution de la quantité d'oxygène, consommé par les bactéries aérobies jusqu'à atteindre une concentration palier proche de 55%.

L'étude microbiologique a permis d'étudier le comportement de la flore d'altération au cours du temps au delà des durées de vie préconisées pour les deux conditionnements afin d'obtenir les cinétiques complètes d'altération. Les résultats microbiologiques sont donnés dans les figures 1, 2 et 3. Ces figures montrent qu'à J0, la concentration est inférieure au seuil de détection pour toutes les flores dénombrées, seuil qui a été utilisé pour caractériser le niveau de contamination initiale. Les conditions environnementales de cette étude : pH, aw, température et environnement gazeux sont favorables au développement des bactéries étudiées puisqu'elles atteignent en fin d'expérience, des concentrations de l'ordre de 10^6-10^7 ufc/g pour la flore lactique, 10^7-10^8 ufc/g pour les entérobactéries et 10^8-10^9 ufc/g pour les *Pseudomonas*. Ces concentrations maximales sont atteintes plus rapidement lorsque les UVCI sont conditionnées sous air (environ 77% N2, 22% O2, 1% de gaz rares) et ce quel que soit le type bactérien. Pour un même jour d'analyse et un même environnement gazeux, des différences significatives de concentrations bactériennes ont été mesurées entre les lots. Ceci peut à la fois s'expliquer par

des niveaux de contamination initiale certes faibles mais variables d'un lot à l'autre et également par des propriétés physico-chimiques (pH, aw) des côtes de porc et un environnement gazeux variables d'un lot à l'autre. Cette variabilité est d'autant plus grande pour les côtes de porc conditionnées sous environnement gazeux.

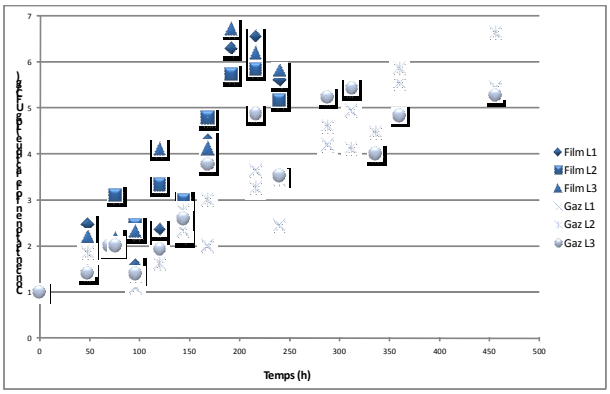


Figure 1 : Evolution de la concentration en flore lactique des UVCI conservées à 8°C

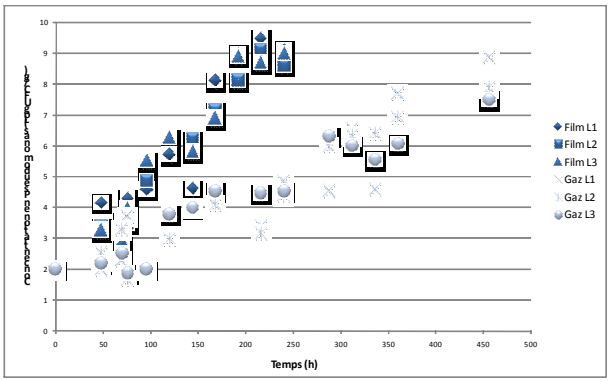


Figure 2 : Evolution de la concentration en *Pseudomonas* des UVCI conservées à 8°C

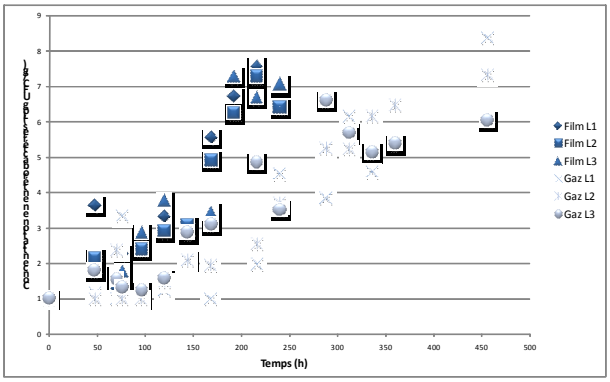


Figure 3 : Evolution de la concentration en entérobactéries des UVCI conservées à 8°C

L'étude de vieillissement a été réalisée en conservant les UVCI à 8°C. Ce n'est pas le scénario thermique classiquement appliqué (ie 2/3 de la durée de vie microbiologique à 4°C puis 1/3 à 8°C) pour valider la durée de vie microbiologique. Cependant, il était indispensable d'assurer une croissance suffisante des bactéries à une température constante et proche de celles employées par les professionnels afin d'estimer les vitesses de croissance et les temps de latence des bactéries puis d'extrapoler leur taux optimal de croissance et ainsi prédire leur comportement en surface des UVCI quel que soit le scénario thermique envisagé (Poster 2).

Conclusion

Cette étude propose d'évaluer l'impact du conditionnement sur l'altération microbiologique d'un produit dans le cadre d'un test de vieillissement et a permis de démontrer que le conditionnement sous gaz permettait de retarder la croissance des Entérobactéries, des *Pseudomonas* et de la flore lactique, responsables d'altérations microbiologiques. Classiquement, afin d'atteindre cet objectif, les contaminations bactériennes sont évaluées en début et en fin de vie, et c'est le potentiel de croissance qui est alors comparé. Grâce à l'approche proposée dans cette étude, les résultats peuvent être extrapolés à d'autres scenarii thermiques que celui testé expérimentalement (Cf. poster 2/2) pour évaluer l'impact du conditionnement dans les scénarii réalistes.

Bibliographie

Robles-Overa, comparaison de la croissance de *Pseudomonas* spp et *Listeria* spp en milieu liquide et en viande de bœuf. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, 1999, 96 p

Rosso, L., Bajard, S., Flandrois, J.P., Lahellec, C., Fournaud, J. et Veit, P. Differential growth of *Listeria monocytogenes* at 4 and 8°C: consequences for the shelf life of chilled products. *Journal of Food Protection* , 1996, 59, 944-949.

INCIDENCE DU MODE DE CONDITIONNEMENT SUR LA DUREE DE VIE DE LA VIANDE DE PORC EN UVCI (POSTER N° 2/2)

ELLOUZE M[1]., ZULIANI V[1]., BOZEC A[2]., LE ROUX A[2].

[1] IFIP, 7 av du Général de Gaulle 94704 Maisons-Alfort, [2] IFIP, La motte au Vicomte 35651 Le Rheu.

Introduction

Les unités de vente de consommateur industrielles (UVCI) offrant des barquettes operculées sous atmosphère protectrice apportent une technologie garantissant l'étanchéité aux exsudats et une plus longue durée de vie microbiologique (DVM) des aliments carnés. Cette augmentation de la DVM s'explique par le pouvoir inhibiteur des gaz d'emballage sur la croissance microbienne. Cette étude s'intéresse particulièrement à l'impact du mode de conditionnement sur la DVM des côtes de porc conditionnées en UVCI. Une première partie (Poster 1) a permis de collecter des données décrivant le comportement de la flore d'altération pour les conditionnements sous film ou sous gaz grâce à la réalisation de tests de vieillissement. L'objectif de cette deuxième partie est d'utiliser la microbiologie prévisionnelle pour simuler l´évolution de la contamination microbienne des côtes de porc conditionnées selon les deux types d'environnement gazeux pour différentes températures de conservation.

Matériels et Méthodes

Les tests de vieillissement (Poster 1) ont permis de caractériser l'évolution physico-chimique ainsi que le comportement des Entérobactéries, de *Pseudomonas* et de la flore lactique dans trois lots d'UVCI de côtes de porc, conditionnées sous air ou sous atmosphère protectrice et conservées à 8°C pendant toute leur DVM (7 jours pour les UVCI sous film et 11 jours pour les UVCI sous atmosphère protectrice).

Ces données ont été reprises pour estimer les paramètres de croissance des trois flores, dans chacun des trois lots et pour les deux environnements gazeux étudiés. Le modèle primaire logistique avec délai et rupture a été utilisé (Rosso et al, 1996). Ces ajustements ont été réalisés à l'aide du logiciel Sym'Previus (http://www.symprevius.net), et ont permis de déterminer les paramètres de croissance du modèle primaire pour chaque flore. Ces paramètres sont : les contaminations initiale et maximale notées N_0 et N_{max} respectivement, le taux de croissance maximal noté μ_{max} et le temps de latence *lag* observé avant l'initiation de la croissance. Pour décrire l'effet de différents facteurs environnementaux tels que la température, le pH et l'aw sur la croissance, le modèle secondaire cardinal (Rosso et al, 1996) a été utilisé. Grâce à ce modèle, le logiciel Sym'Previus modélise individuellement l'effet de chaque facteur environnemental sur le taux maximum de croissance, μ_{max}, relativement à sa valeur optimale μ_{opt}, obtenue pour des conditions optimales de croissance. La détermination du taux de croissance optimal μ_{opt} permet alors de simuler le comportement des micro-organismes dans les côtes de porc conditionnées sous air ou sous atmosphère protectrice pour n'importe quelle condition environnementale. Quatre scénarii de stockage différents (Tableau 2) ont été étudiés. Les deux premiers (S1 et S2) correspondent aux scénarii de conservation classiquement utilisés dans la filière. Dans le cadre du scénario S1, utilisé en viande fraiche, les produits sont placés pendant 1/3 de leur DVM à 4°C puis pendant 2/3 à 8°C; dans le scénario S2, les produits sont stockés 2/3 de la DVM à 4°C puis 1/3 à 8°C. Les deux autres scénarii S3 et S4 correspondent à des cinétiques de température réelles depuis le conditionnement jusqu'à la consommation pour deux pavés de porc conditionnés sous vide et obtenus dans le cadre d'une étude réalisée par le CEMAGREF pour le compte de l'ANIA en 2002 (Derens et al, 2003). Ils illustrent des conditions de bonne maitrise (scénario S3) et de mauvaise maitrise (scénario S4) de la température tout au long de la chaine du froid.

Une fois les simulations réalisées, l'accroissement microbien obtenu à la fin de chacun des quatre scénarii et pour les deux environnements gazeux a été évalué.

Résultats et Discussion

Les résultats des ajustements sont donnés dans le Tableau 1. Ce tableau montre une **contamination initiale** très faible de 1 log UFC/g correspondant au seuil de détection pour les différentes flores dénombrées dans les trois lots étudiés. Le tableau 1 montre que **les temps de latence** sont variables selon les lots, les environnements gazeux et les flores. Ainsi, le temps de latence moyen des Entérobactéries obtenu lors des cinétiques sous air est de 92±33h, reflétant une importante variabilité interlot. Le temps de latence augmente à 133±36h lorsque le conditionnement se fait sous atmosphère protectrice, reflétant un effet important du mode de conditionnement sur l'initiation de la croissance. Cette variabilité liée au mode de conditionnement et aux lots est également observée pour les bactéries lactiques mais avec des temps de latence plus courts (28h en moyenne pour le conditionnement sous air et 80h en moyenne pour le conditionnement sous atmosphère protectrice). En ce qui concerne *Pseudomonas*, les temps de latence obtenus ne sont pas significativement différents de 0h et la variabilité qui leur est associée n'a donc pas pu être étudiée. Une importante variabilité liée au

mode de conditionnement est observée pour les **taux de croissance** des trois flores qui sont deux fois plus faibles en conditionnement sous atmosphère protectrice qu'en conditionnement sous air. Enfin, en ce qui concerne les **densités de populations maximales**, il reste difficile de conclure : pour la flore lactique et les *Pseudomonas*, les N_{max} observés en moyenne pour les cinétiques sous air sont plus importants que ceux obtenus en moyenne dans les cinétiques sous atmosphère protectrice, mais la différence des N_{max} des Entérobactéries entre les deux types de conditionnement reste non significative.

Tableau 1 : Paramètres de croissance de la flore lactique, des entérobactéries et des *Pseudomonas* dans les UVCI obtenus par ajustement du modèle primaire (Rosso et al,1996).

		Sous film				Sous gaz			
		N_0 (log UFC/g)	*Lag* (h)	μ_{max} (h^{-1})	N_{max} (log UFC/g)	N_0 (log UFC/g)	*Lag* (h)	μ_{max} (h^{-1})	N_{max} (log UFC/g)
Flore lactique	lot 1	1	38 ± 10	0,059	6,55	1	110 ± 10	0,035	5,54
	lot 2	1	19 ± 7	0,056	5,84	1	96 ± 8	0,032	6,64
	lot 3	1	28 ± 9	0,062	6,71	1	34 ± 11	0,040	5,42
	moyenne	nd	**28,33**	**0,059**	**6,37**	**nd**	**80,00**	**0,036**	**5,87**
	écart type	nd	**9,50**	**0,003**	**0,46**	**nd**	**40,45**	**0,004**	**0,67**
Entérobactéries	lot 1	1	120 ± 9	0,16	7,56	1	170 ± 12	0,056	8,36
	lot 2	1	100 ± 5	0,12	7,26	1	130 ± 6	0,053	7,31
	lot 3	1	55 ± 9	0,081	7,27	1	99 ± 10	0,056	6,6
	moyenne	nd	**91,67**	**0,120**	**7,36**	**nd**	**133,00**	**0,055**	**7,42**
	écart type	nd	**33,29**	**0,040**	**0,17**	**nd**	**35,59**	**0,002**	**0,89**
Pseudomonas	lot 1	1	0 ± 4	0,088	9,49	1	0 ± 12	0,030	8,88
	lot 2	1	4 ± 4	0,089	9,12	1	0 ± 7	0,035	7,9
	lot 3	1	0 ± 3	0,086	8,97	1	0 ± 6	0,033	7,49
	moyenne	nd	**1,33**	**0,088**	**9,19**	**nd**	**0,00**	**0,033**	**8,09**
	écart type	nd	**2,31**	**0,002**	**0,27**	**nd**	**nd**	**0,003**	**0,71**

nd : non défini

Les paramètres de croissance moyens donnés dans le Tableau 1 ont été utilisés pour simuler la croissance de *Pseudomonas* dans les 4 scénarii S1 à S4. Les résultats des accroissements obtenus sont donnés dans le Tableau 2. Pour tous les scénarii étudiés, l'accroissement des *Pseudomonas* est systématiquement plus important pour le conditionnement sous air par rapport au conditionnement sous atmosphère protectrice, ce qui confirme l'effet inhibiteur de la composition de l'environnement gazeux. Ainsi pour le scénario le plus défavorable S1, une augmentation de l'accroissement de 2,5 log est observée pour les conditionnements sous atmosphère protectrice contre une augmentation de 4,0 log pour le conditionnement sous air, alors que la durée de conservation est plus importante (11 jours contre 7 pour le conditionnement sous film). Cette différence de 1,5 log est similaire à celle obtenue pour le scénario de mauvaise maitrise de la température S4 (1,8 log). La différence entre les accroissements obtenus entre les deux environnements gazeux devient plus faible lorsque la température est bien maitrisée. Ainsi, cette différence est estimée à 1 log pour le scénario S2 et à 0,15 log pour le scénario S3.

Tableau 2. Accroissement médian en log UFC/g des *Pseudomonas* obtenus par simulations pour les quatre scénarii

Conditions	**S1 : 1/3 à 4°C 2/3 à 8°C**	**S2 : 2/3 à 4°C et 1/3 à 8°C**	**S3 : Bonne maitrise**	**S4 : Mauvaise maitrise**
7j sous film	4,0	3,0	0,25	3,0
11 j sous gaz	2,5	2,0	0,10	1,2

Pour un même environnement gazeux, les accroissements diffèrent également en fonction du scénario considéré. Ainsi, dans des conditions de mauvaise maitrise de la température (S4) et pour un conditionnement sous film, un accroissement de 3 log est obtenu, alors que dans des conditions de bonne maitrise (S3) l'accroissement est de 0,25 log uniquement.

Conclusion

Ce travail a permis de quantifier l'effet de l'environnement gazeux et des conditions de conservation des UVCI de côtes de porc sur leurs qualités microbiologiques en se basant essentiellement sur un germe d'altération : *Pseudomonas*. Des expériences complémentaires permettraient d'acquérir les données nécessaires pour prévoir le comportement d'autres micro-organismes d'altération tels que les Entérobactéries ou la flore lactique ainsi que celui des pathogènes.

Bibliographie

Rosso, L., Bajard, S., Flandrois, J.P., Lahellec, C., Fournaud, J. et Veit, P. 1996. Differential growth of *Listeria monocytogenes* at 4 and 8°C: consequences for the shelf life of chilled products. J. Food Prot, 59, 944-949.
Derens, E., Guilpart, J., Prosen, E., Palagos, B. 2003. La chaîne du froid, du fabricant au consommateur : les résultats de l'audit ANIA. Rapport final de l'étude Ania/Cemagref. 100 p.

EVALUATION DE L'HYGIENE DU PROCEDE D'ABATTAGE AUX ABATTOIRS DE COTONOU-PORTO-NOVO A L'AIDE D'EXAMEN BACTERIOLOGIQUE DE SURFACE

SALIFOU C.F.A[1]., SALIFOU S. [1], TOUGAN P.U. [1], AHOUNOU G.S. [1], YOUSSAO A.K.I. [1]

[1] Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Production et Santé Animales, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

Introduction

La viande a été traditionnellement considérée comme le véhicule de nombreuses maladies d'origine alimentaire chez l'homme (Dennaï 2001, Fosse *et al*., 2006). Sa qualité hygiénique dépend, d'une part de la contamination pendant les opérations d'abattage et de la découpe et d'autre part, du développement et de la croissance des flores contaminantes pendant le refroidissement, le stockage et la distribution (Dennaï 2001, El Okki 2005). L'abattoir constitue l'un des points critiques majeurs de l'hygiène des viandes et l'abattage est considéré comme l'étape où les plus grandes opportunités de contamination existent (Dennaï, 2001, Collobert, 2002, Vallotton, 2004, Merle, 2005, Beaubois, 2009). Selon Jouve (1990), 80 à 90% de la microflore des viandes parvenant aux consommateurs résultent de contaminations survenant à l'abattoir. Il s'avère donc indispensable de maîtriser tout au long de la chaîne d'abattage les dangers de contamination de la viande pouvant être nuisibles aux consommateurs. Une maîtrise qui nécessite forcément une hygiène tout au moins acceptable du procédé d'abattage. Quel est donc le niveau d'hygiène du procédé d'abatage des bovins aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo ? Tel est l'objectif de la présente étude réalisée dans le respect de la « Décision 2001/471/CE et le Règlement (CE) N° 2073/2005 du 15 novembre 2005 de l'Union Européenne.

Matériel et méthode

L'étude a été menée sur les carcasses de bovins abattus aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo. La chaîne de production a été suivie et les prélèvements ont été réalisés un jour par semaine pendant 6 semaines. Le jour de l'échantillonnage a varié chaque semaine afin que les résultats soient représentatifs de toute la semaine. Quatre prélèvements d'au moins 5 cm^2 chacun ont été effectués par carcasse et sur cinq demi-carcasses, provenant de cinq animaux différents, alternativement sur une demi-carcasse gauche puis sur une demi-carcasse droite par jour. Ils ont été regroupés par carcasse dans de sachet stomacher stérile pour la réalisation de la solution mère. Les différentes dilutions ont été réalisées à partir de la solution mère et conformément à la norme ISO 6887-2. Les germes recherchés sont la flore aérobie mésophile totale (FMAT), les entérobactéries et les salmonelles qui sont les trois critères indicateurs de l'hygiène du procédé d'abattage. Les échantillons prélevés dans la matinée, ont toujours été ensemencés dans l'après midi du jour de prélèvement. La FMAT a été ensemencée et recherchée conformément à la norme ISO 4833, les entérobactéries conformément à la norme ISO 21528-2 et les salmonelles conformément à la norme ISO 6579. Pour chaque germe recherché, les résultats ont été communiqués en terme de log10 d'UFC par cm^2 de surface de carcasse prélevée, les logs moyens quotidiens ont été déterminés et affectés à l'une des trois catégories suivantes : satisfaisante, acceptable, et non satisfaisante conformément au Règlement N°2073/2005 de l'Union Européenne. La moyenne et la déviation standard de la FMAT et des entérobactéries dénombrées, ont été calculées par la Procédure *Proc Means* du SAS (1991).

Résultats et discussion

Du lundi au samedi, la charge microbienne moyenne des cinq carcasses prélevées par jour varie de 1,16 à 3,64 log UFC/cm^2 pour la FMAT et de 0,49 à 2,06 log UFC/cm^2 pour les entérobactéries (tableau 1), soit une charge totale moyenne de 3,0±0,7 log UFC /cm² pour la FMAT et 1,2±0,6 log UFC /cm² pour les entérobactéries. Tous les échantillons prélevés sont exempt de *Salmonella*. Par rapport aux normes admises dans la littérature, les concentrations en FMAT, en entérobactérie et en salmonelles sont inférieures à la limite tolérable, d'où, l'hygiène du procédé d'abattage est satisfaisante aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo.

Au Bénin et dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne, peu d'études ont été réalisées sur l'hygiène du procédé d'abattage. Un dénombrement semblable à celui effectué dans la présente étude a été obtenu par Collobert (2002) sur 233 carcasses de bovins abattus dans quatre abattoirs du Calvados où la contamination moyenne est de 3,78 log (UFC/cm^2) pour la flore mésophile aérobie totale et 1,42 log (UFC/cm^2) pour les entérobactéries. El Okki *et al.* (2005) ont dénombré 5,34 log UFC/cm2 de carcasse pour la FMAT à l'abattoir municipal de Constantine en Algérie. Quantitativement, aucune différence significative n'a été observée entre les charges microbiennes journalières en FAMT dans la présente étude. Par contre, sur le plan qualitatif, l'hygiène du procédé est acceptable le premier et le dernier jour du prélèvement et satisfaisant les autres jours. Pour les entérobactéries, cinq résultats satisfaisants ont été obtenus et un acceptable. En somme, la qualité microbiologique du procédé d'abattage est satisfaisante malgré l'état défectueux de la construction, de la configuration et des équipements des abattoirs. Ce résultat peut s'expliquer par le douchage effectué avant l'habillage et qui rend visuellement propre le corps de l'animal d'une part, la manipulation

limitée des carcasses qui entraine une limitation de la contamination tout au long du processus d'abattage et de façon générale de l'hygiène de l'abattage d'autre part. Il semble donc avoir un lien entre le niveau de contamination superficielle de la carcasse et l'état de propreté visuelle de l'animal avant abattage ou avant habillage. Le niveau d'hygiène aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo pourrait également être dû à une prise de conscience du personnel d'abattage du fait qu'ils ont au préalable été informés des objectifs des travaux à réaliser. L'absence des salmonelles dans les échantillons prélevés dans la présente étude n'implique pas forcément leur absence de la surface des carcasses testées à cause de la, diversité des sites de contamination qui varie d'un établissement à l'autre (Hinton, 1998). Dans la présente étude, ces sites peuvent ne pas être les plus contaminés du fait qu'ils n'entrent pas en contact avec les locaux, le sol et même les crochets et le rail aérien dont l'hygiène est défectueuse.

Tableau1 : Moyenne des UFC de la FMAT et des Entérobactéries des carcasses de bovins abattus aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo.

Jours de prélèvement	FMAT (log UFC/cm^2)		Entérobactérie (log UFC/cm^2)	
	*Moyenne± Déviation standard	Interprétation	*Moyenne± Déviation standard	Interprétation
Lundi	3,58±0,83	Acceptable	0,49±0,45	Satisfaisant
Mardi	2,44±0,21	Satisfaisant	1,06±1,19	Satisfaisant
Mercredi	3,45±0,47	Satisfaisant	1,69±1,07	Acceptable
Jeudi	3,01±0,79	Satisfaisant	0,97±1,04	Satisfaisant
Vendredi	1,96±0,67	Satisfaisant	1,10±0,71	Satisfaisant
Samedi	3,64±0,05	Acceptable	2,06±0,56	Acceptable
Total	3 ,01±0,68	Satisfaisant	1,23±0,56	Satisfaisant

* Conformément aux normes prévues par l'Union Européenne (2005), le minimum en concentration est de 3,5 et le maximum 5 log UFC/cm^2 pour FMAT et le minimum en concentration est de 1,5 et le maximum est de 2,5 log UFC/cm² pour les entérobactéries.

Conclusion

Ce travail a permis de voir contre toutes attentes que l'hygiène du procédé d'abattage aux abattoirs de Cotonou-Porto-Novo est satisfaisante malgré l'état défectueux et non conforme des locaux et équipements. Il serait donc souhaitable de procéder à une répétition des contrôles microbiologiques dans le temps afin de vérifier la répétabilité des résultats et de tirer une conclusion définitive.

Références Bibliographiques

Beaubois P., 2009 Viandes Prod. Carnés, Vol 26 (4).
Collobert J., Dorey F., Dieuleveux V., 2002. Sciences des aliments, vol. 22, No. 3, 327-334.
Décision, 2001/471/CE du 8 Juin 2001. JOCE n° L165 du 21 Juin 2001, 48-53.
Dennaï N., Kharrattib B., El Yachiouim A., 2001. Ann. Méd. Vét., **145**, 270-274.
El Okki S., El Groud R., Kenana H., Quessy S., 2005. Can. Vet. J., 200, 638–640.
Fosse J., Cappelier J-M., Laroche M., Fradin N., Giraudet K., Magras C., 2006. Rencontre Recherche Ruminant, 13, 411-414.
Hinton M. H., Hudson W. R., Mead G. C., 1998. Meat Science, 50, 2, 265-271.
ISO 21528-2, 2004. V08-039-2, 1-10.
ISO 4833, 2003. V08-011, 1-9.
ISO 6579, 2002. V08-013, 1-26.
ISO 6887-2, 2004.V08-010-2, 1-16.
Jouve J. L., 1990. Viandes et Prod. Carnés, 11, 6, 207-213.
Merle E.M., 2005. ENVT, Toulouse, 35-90.
SAS, 1991. SAS/STAT User's guide, vers. 6, 4th ed. Cary, NC, USA, SAS Inst, 70-85.
UE, 2005. Règlement (CE) n° 2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005. Journal Officiel de l'Union Européenne, L 338/24.
Vallonton F. M., 2004. ENVT, Toulouse, 67-74.

TEST ELISA A SPECTRE LARGE POUR LA DETECTION DES FLUOROQUINOLONES DANS DIVERSES MATRICES BIOLOGIQUES

ENGUEHARD S.[1*], VERHEIJEN R.[2], SAJIC N.[2], STREPPEL L.M.[2]

[1] NOVAKITS, Nantes Creatic - lot 12, 2 rue Robert le Ricolais, 44304 Nantes cedex 3, France
[2] EUROPROXIMA BV, Beijerinckweg 18, NL-6827 BN Arnhem, The Netherlands

Introduction

Les fluoroquinolones (FQs) sont une classe d'antibiotiques de synthèse, agissant par inhibition de la DNA-gyrase en empêchant son action au niveau de la duplication de l'ADN. Dans la mesure où la gyrase est une enzyme indispensable chez les procaryotes, mais non présente chez les eucaryotes, les bactéries sont une cible idéale pour ces antibiotiques. Les fluoroquinolones sont principalement actives contre les bactéries Gram négatif et ont trouvé de larges applications, tant en médecine humaine que vétérinaire. Cependant, l'utilisation des FQs chez les animaux de rapport et en aquaculture pose également problème dans la mesure où cet usage a contribué au développement de souches résistantes à ces antibiotiques chez l'homme, par exemple pour *Staphylococcus aureus* (MRSA, MRSE) et *Campylobacter jejuni*. Pour cette raison, il est important de disposer d'une méthode de screening efficace des résidus de fluoroquinolones dans les produits animaux ; des Limites Maximums de Résidus (LMR) ont été établies (tableau 1).
Avec le test 5101FLUQG, EuroProxima BV a introduit le premier test générique de recherche de fluoroquinolones par ELISA. Afin de répondre à une demande des utilisateurs pour un test pouvant détecter plus largement ces résidus, le nouveau test 5101FLUQII vient d'être développé.

Materiel et Méthodes

La FQ norfloxacine (NRFX) est conjuguée à la thyroglobuline bovine et utilisée pour produire des anticorps polyclonaux chez le lapin. Les anticorps obtenus ont été mis en oeuvre dans un ELISA par compétition. La peroxydase HRP marquée à la NRFX est utilisée comme conjugué. Le test est calibré avec des standards de NRFX

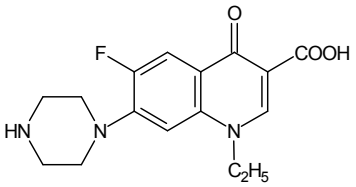


Figure 1: Structure moléculaire de la Norfloxacine (NRFX)

Resultats et Discussion

Sensibilité et Spécificité : Les cross réactivités des anticorps avec les principales fluoroquinolones et analogues ont été déterminées en solution tamponnée faiblement saline (8 mM Na_2HPO_4, 1.5 mM KH_2PO_4, 2.7 mM KCL, 0.6% NaCl, 0.05% Tween-80, 1% BSA) contenant 8% de méthanol ; les incubations réalisées selon les instructions du coffret :

Composé	Cross réactivité (%)	
	5101FLUQG	5101FLUQII
Norfloxacine	100	100
Enrofloxacine *	92	84
Ciprofloxacine *	124	91
Difloxacine *	1	105
Sarafloxacine *	4	92
Marbofloxacine*	16	113
Danofloxacine *	89	47
Levofloxacine	3	173
Enoxacine	57	119
Flerofloxacine	40	92
Perfloxacine	<0.1	90
Tosufloxacine	<0.1	67
Ofloxacine	18	62
Gatifloxacine	5	16
Acide oxolinique *	57	9
Pazufloxacine	1	8
Acide nalidixique	<0.1	2
Acide piromidique	62	<0.1

Tableau 1: Cross réactivité des anticorps des coffrets FLUQG et FLUQII
* LMR Communautaire établie

La limite de détection (LDD) a été calculée en ajoutant 3 Déviations Standard SD à la moyenne de 20 échantillons blancs selon le document SANCO/1085/2000. Pour les procédures d'extraction, la LDD est calculée en tenant compte des différentes étapes :

Matrice	Procedure	LDD (µg/kg)
Viandes	dilution en MetOH 8%	12
Viandes	extraction MetOH 80%	0.3
Serum	dilution en MetOH 8%	2.5
Urine	dilution en MetOH 8%	7
Miel	dilution en MetOH 8%	2
Alimentat° animale	extraction MetOH 80%	5
Lait	dilution en MetOH 8%	3
Oeuf	extraction MetOH 40%	6
Œuf entier / Muscle	SPE	0.5

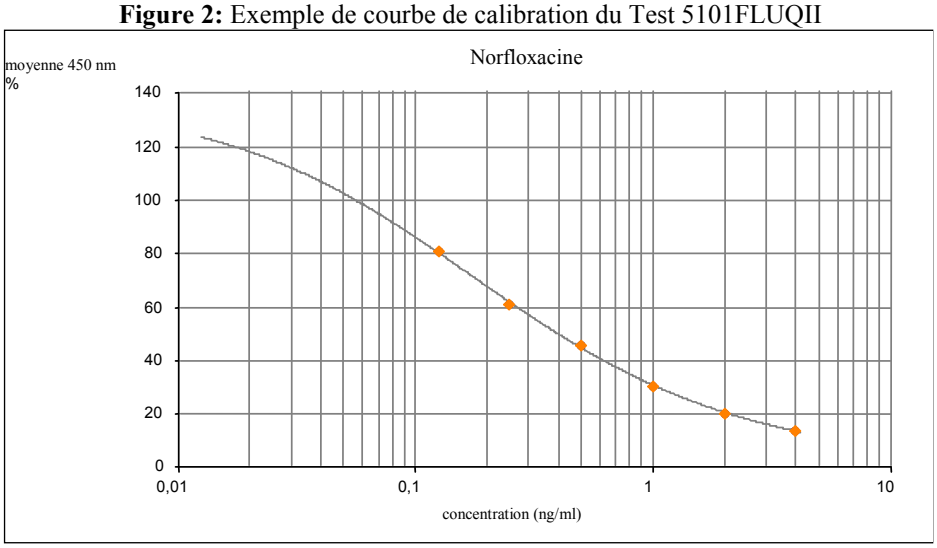
Tableau 2: LDD pour le 5101FLUQG ELISA.

Matrice	Procedure	LDD (µg/kg)
Viandes	dilution en MetOH 10%	4
Viandes	extraction MetOH 80%	0.6
Serum	dilution en MetOH 10%	3
Urine	dilution en MetOH 10%	1.5
Miel	dilution en MetOH 10%	0.1
Alimentat° animale	dilution en MetOH 10%	16

Tableau 3: LDD pour le 5101FLUQII ELISA

Rendement: le recouvrement sur différents échantillons dopés en NRFX varie entre 70%-130% en fonction de la matrice
Durée du test : FLUQG (90 min), FLUQII (45 min).
Péremption: 18 mois en sortie de production.

Figure 2: Exemple de courbe de calibration du Test 5101FLUQII



Conclusions

Tant le test ELISA 5101FLUQG que le 5101FLUQII peuvent être utilisés pour le screening large des résidus de fluoroquinolones dans les produits alimentaires. Le test ELISA 5101FLUQII est plus sensible pour les difloxacine, sarafloxacine et marbofloxacine, pour lesquelles des limites maximales de résidus communautaires LMR ont été établies. De plus, le test ELISA FLUQII est plus sensible pour les levofloxacine, enoxacine, perfloxacine, tosufloxacine et ofloxacine. Le test ELISA FLUQG est plus sensible pour la danofloxacine et l'acide oxolinique.

*Auteur correspondant : Tel. +33 (0)2 40 37 57 95 - Courrier électronique : s.enguehard@novakits.com

UN DISPOSITIF NATIONAL AU SERVICE DES ENTREPRISES ET DES POUVOIRS PUBLICS : LE RESEAU MIXTE TECHNOLOGIQUE (RMT) DEDIE A L'EXPERTISE POUR LA DETERMINATION DE LA DUREE DE VIE MICROBIOLOGIQUE DES ALIMENTS

STAHL V.[1], DENIS C. [2], AUGUSTIN J.C. [3], BEAUFORT A[4], BEAUVAIS M.L.[9], CERANI B. [5], CHRISTIEANS S. [6], FARROKH C. [7], GARRY P. [8], GIULIANI L.[9], GUYONNET J.P. [7], JAMET E. [10], LEBOIS S. [11], MAJOU D. [11], MICHEL V. [10], PIAUDEL G.[8], PINON A.[12], SERVAIS J.P. [13], THUAULT D. [14]

[1] Aérial Parc d'Innovation Rue Laurent Fries BP 40443 F 67412 Illkirch Cédex (v.stahl@aerial-crt.com)
[2] ADRIA NORMANDIE Bd 13 juin 1944 F 14 310 Villers Bocage (cdenis@adrianie.org)
[3] Unité MASQ, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 7 Avenue du Général de Gaulle – F-94704 Maisons-Alfort Cedex
[4] AFSSA 23, avenue du Général De Gaulle F 94706 Maisons - Alfort Cédex
[5] Lycée agricole Louis MALLET BP 92 F 15104 Saint Flour
[6] ADIV 10, rue Jacqueline-Auriol ZAC du parc industriel des Gavranches F 63039 Clermont-Ferrand
[7] CNIEL 42, rue de Châteaudun, F 75314 Paris cédex 09
[8] IFIP - Institut du porc 7 avenue du Général de Gaulle F 94704 Maisons-Alfort
[9] DGAL Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche 251, rue de Vaugirard F 75 732 Paris
[10] ACTILAIT Technopole ALIMENTEC, Rue Henri de Boissieu F 01060 Bourg en Bresse
[11] ACTIA 16, rue Claude Bernard – F 75231 Paris Cédex 05
[12] Institut Pasteur de Lille 1 rue du professeur Calmette F BP 245 F 59019 Lille Cédex
[13] EPLEFPA - ENIL Saint Lô Hall technologique 383, rue Popielujko F 50000 Saint Lô
[14] ADRIA Développement Z.A De Creac'h Gwen F 29196 Quimper

La réglementation européenne (règlement (CE) n°178/2002 du Parlement Européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux de la législation alimentaire et règlements du Paquet Hygiène) stipule clairement l'objectif d'un niveau élevé de protection de la santé humaine et de la santé animale. Du point de vue microbiologique, des critères sont en place depuis janvier 2006 et les problématiques sont différentes selon les espèces bactériennes. Le règlement (CE) n°2073/2005 modifié concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires indique que « les critères de sécurité définissent l'acceptabilité d'un produit ou d'un lot de denrées alimentaires, applicables aux produits mis sur le marché pendant toute la durée de conservation des produits et dans des conditions de distribution, d'entreposage et d'utilisation raisonnablement prévisibles". L'annexe II de ce règlement précise les études que les entreprises doivent conduire, afin de vérifier si les critères microbiologiques sont respectés pendant toute la durée de conservation. Ces études sont notamment applicables à *Listeria monocytogenes*. Les aliments prêts à être consommés sont à classer selon leur potentialité à permettre le développement ou non de la bactérie pathogène ; le taux de 100 UFC/g est le seuil à ne pas dépasser pour le produit mis sur le marché pendant toute la durée de conservation. Sa présence est tolérée sur la justification scientifique du respect du critère. Cette justification scientifique repose sur l'utilisation de différents outils.

L'industrie alimentaire a besoin de données fiables et d'outils d'aide à la décision, pour s'assurer de la qualité microbiologique des produits depuis la mise sur le marché jusqu'à la consommation. La détermination des caractéristiques physico-chimiques du produit alimentaire, le test de vieillissement, le test de croissance, le challenge test procédé et la microbiologie prévisionnelle font partie des outils d'aide à l'évaluation de la durée de vie microbiologique d'un produit alimentaire. Ces outils sont cités dans l'annexe II du règlement (CE) n°2073/2005. **Cependant l'annexe ne décrit pas la méthodologie à appliquer.**

Le Réseau Mixte Technologique (RMT) développe des travaux entre acteurs de la recherche, de la formation et du développement, en concertation avec les pouvoirs publics et les professionnels. Labellisé en août 2007 par le Ministère chargé de l'Agriculture et affilié à l'Association de Coordination Technique pour l'Industrie Agroalimentaire (ACTIA, Paris), ce RMT implique 14 partenaires dont des centres ITAI et centres techniques, deux établissements d'enseignement technique agricole ainsi que l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) et l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (ENVA). La Direction Générale de l'Alimentation, le CNIEL, l'ACTIA participent au comité de pilotage.

Les objectifs prioritaires sont de positionner l'expertise disponible au niveau national et européen dans le contexte du règlement (CE) n°2073/2005, en particulier pour *Listeria monocytogenes et* d'être vecteur de diffusion des outils

opérationnels auprès des interprofessions, des entreprises et des futurs professionnels. La mission du RMT est aussi de mutualiser les connaissances et de les confronter aux besoins des entreprises car il y a nécessité d'une démarche nationale harmonisée. Les travaux contribuent ainsi à l'évolution des outils opérationnels pour l'estimation de la durée de vie microbiologique des aliments et à leur articulation pertinente. En effet, l'aliment est une matrice complexe et nécessite la prise en compte d'un ensemble de variabilités de terrain, variabilités liées au microorganisme, liées à la composition de l'aliment, à son environnement de production et aux conditions raisonnablement prévisibles de stockage, distribution et consommation.

Le RMT est impliqué dans l'organisation ou la participation à des tables rondes, vecteurs de transfert des outils sur le territoire national. Des essais inter laboratoires vont nous permettre d'unifier les méthodes de mesure et d'émettre des lignes directrices. Les membres contribuent à la rédaction de normes au sein du groupe de travail AFNOR dans un objectif d'harmonisation des démarches d'évaluation de la durée de vie des aliments pour un même niveau d'exigences. Le RMT a également été un catalyseur d'un partenariat étroit avec le Ministère chargé de l'Alimentation et l'AFSSA, en charge de missions européennes dans le contexte de l'interprétation du règlement communautaire (CE) n°2073/2005. Ainsi l' « empreinte » de l'expertise française est décrite dans le guide européen relatif à *Listeria monocytogenes* et destiné aux opérateurs (version 2008). Cette spécificité française est fortement liée à l'outil de microbiologie prévisionnelle Sym'Previus, permettant de prendre en compte un ensemble de variabilités. Par ailleurs, des études de cas sont développées pour *Listeria monocytogenes* et d'autres flores limitant la durée de vie microbiologique, démonstrations de **l'articulation** des outils d'aide à l'expertise dans le guide pratique du RMT en cours de rédaction.

TESTS D'EFFICACITE DE L'ACTION CURATIVE ET PREVENTIVE DE PRODUITS DE DECONTAMINATION SUR DES BIOFILMS DE *LISTERIA MONOCYTOGENES*

QUINON E.[1], CHAMOT S.[1], GROELLY J.[2], CHAVANT P.[2], BERNARDI T.[2], DESVAUX M.[1], CHRISTIEANS S.[3] et HEBRAUD M.[1]

UR454 Microbiologie, Equipe Qualité et Sécurité des Aliments, INRA de Clermont-Ferrand, 63122 Saint-Genès Champanelle[1], BioFilm Control, Biopôle Clermont-Limagne, 63360 Saint-Beauzire[2], ADIV, 10 rue Jacqueline Auriol, ZAC des Gravanches, 63039 Clermont-Ferrand cedex 2[3], France

Introduction

L. monocytogenes est une bactérie pathogène à Gram positif présente dans différentes sources de notre environnement et qui peut se retrouver dans les environnements industriels des ateliers de production et de transformation des aliments. Elle peut également être présente dans le tractus intestinal des animaux et de l'homme, en transit ou sous forme de portage asymptomatique, et être disséminée via les fèces. Elle est l'agent causal de la listériose, infection rare mais sévère (20-30% de létalité) d'origine alimentaire affectant essentiellement les personnes âgées et/ou immunodéprimées, les femmes enceintes et les nouveau-nés. La fréquence des cas de listériose en France, de 0,35 cas/100 000 habitants en 2002-2005, a augmenté en 2006-2008 autour de 0,46-0,50 cas/100 000 habitants (22% létalité [1]). Les alertes alimentaires enregistrées en 2008, dues à la présence de *L. monocytogenes*, sont de 280 avec 47,8% pour les produits carnés, 16,8% pour les fromages au lait cru et 14,3% pour les poissons et produits de la mer [2]. Les cas de listériose ont également progressés dans de nombreux pays comme la Finlande, la Suisse, Israël [3], le Portugal [4], le Chili où *L. monocytogenes* est considéré comme un pathogène émergent [5], ou encore l'Angleterre et le Pays de Galles (x2 depuis 2001 avec 39% de létalité ; [6]) où ils sont principalement dus à des plats prêt à consommer [7]. En Europe, l'incidence de la listériose a globalement augmenté de 59% depuis 2000 et affecte très majoritairement les personnes âgées de plus de 60 ans [8]. Ces données montrent que le risque sanitaire lié à *L. monocytogenes* demeure important et nécessite une attention constante de la part des industriels de l'agroalimentaire et des distributeurs.

Dans ce contexte de maîtrise de la contamination microbiologique des aliments et selon la réglementation européenne en vigueur depuis janvier 2006, les procédures de sécurité alimentaire exigent des interventions sur les produits et sur toutes les surfaces des ateliers, de la réception des matières premières jusqu'à la transformation et le conditionnement. Toutes les surfaces peuvent être contaminées par des microorganismes qui peuvent adhérer, former des biofilms et disséminer tout au long de la chaîne de production et de conditionnement. La littérature montre que les cellules bactériennes sessiles, c'est-à-dire adhérées et formant un biofilm, présentent une plus résistance accrue aux environnements hostiles et en particulier aux procédures de nettoyage désinfection par rapport à des cellules planctoniques, c'est-à-dire en suspension dans un milieu de culture de laboratoire [9]. Hors, l'efficacité des produits de nettoyage désinfection utilisés pour la décontamination des surfaces dans les ateliers agroalimentaires est généralement évaluée sur les cellules planctoniques, ce qui ne permet pas de prédire leur efficacité sur les bactéries en biofilm.

Nous avons donc cherché à développer un dispositif de criblage permettant de tester l'efficacité de produits de décontamination formulés ou de produits/molécules à activités biocide, bactériostatique ou « anti-biofilm », sur des biofilms bactériens matures. Ce dispositif a ensuite été utilisé pour évaluer l'action curative et préventive de quatre produits de décontamination commerciaux utilisés en agro-alimentaire sur différentes souches de *L. monocytogenes*.

Matériels et Méthodes

Le dispositif mis en œuvre pour ce travail, appelé BioFilm *Ring Test*® (BRT), a été initialement créé pour évaluer la capacité des bactéries à adhérer et à former un biofilm sur une surface abiotique [10]. Nous avons adapté et définis les paramètres et les méthodologies pour tester l'action curative et préventive de produits de décontamination sur des biofilms bactériens. Nous avons utilisé 3 souches de *L. monocytogenes,* de sérotypes 1/2a, 1/2b et 1/2c, sélectionnées pour leur aptitude à former un biofilm plus ou moins rapidement un biofilm avec le BRT. L'efficacité de 4 produits de décontamination commerciaux, (i) à détacher *L. monocytogenes* de la surface et à affecter sa viabilité ou (ii) à empêcher son adhésion, a été testée. Les 4 solutions de décontamination choisies, appliquées à la concentration préconisée par les fournisseurs étaient composées d'ammonium quaternaire [AQ] (solution 1), d'AQ + un complexe enzymatique (solution 2), de peroxyde d'hydrogène + un agent moussant (solution 3), d'acide peracétique (solution 4). Trois températures (10°, 20° et 37° C) étaient utilisées pour les tests, effectués en microplaque avec 200 µl de milieu BHI contenant 10^7 CFU/puits. Les microplaques étaient incubées 24 h à 37°C pour permettre la formation du biofilm. Les solutions étaient appliquées soit directement (pour 37°C) ou après 24 h supplémentaires d'incubation à 20° ou 10°C. Le traitement consistait à remplacer 100 µl de BHI par 100 µl de solution en BHI et à incuber 20 min à température ambiante. Le détachement du biofilm était évalué avec le BRT et la mortalité des cellules sessiles et planctoniques était mesurée par dénombrement. Pour tester l'effet préventif des solutions, 250 µl de produit étaient laissés en contact 20 min avec le fond du puits, puis la solution était éliminée et les puits étaient ensemencés après un lavage (ou non) par du tryptone sel.

Résultats et Discussion

L'effet d'un traitement de 20 min a montré que les solutions 1, 3 et 4 ne détachaient pas les biofilms des trois souches de *L. monocytogenes* alors que la solution 2 permettait un décrochement partiel à 10° et 20°C du biofilm formé par l'une des trois souches testées (1/2b). Le dénombrement des cellules planctoniques et sessiles après l'application des

traitements a révélé seules les solutions 1 (Fig. 1**A**, **B**) et 2 (Fig. 1**B**, **D**) contenant de l'AQ comme biocide éliminaient complètement les cellules planctoniques (**A**, **C**) et affectaient considérablement la viabilité des cellules sessiles (**B**, **D**) quelle que soit la température. La solution 2 contenant l'AQ plus un complexe enzymatique était plus efficace sur les cellules sessiles puisque le traitement les éliminait totalement à 20° et 37°C et réduisait de 1 à 4 log la population viable

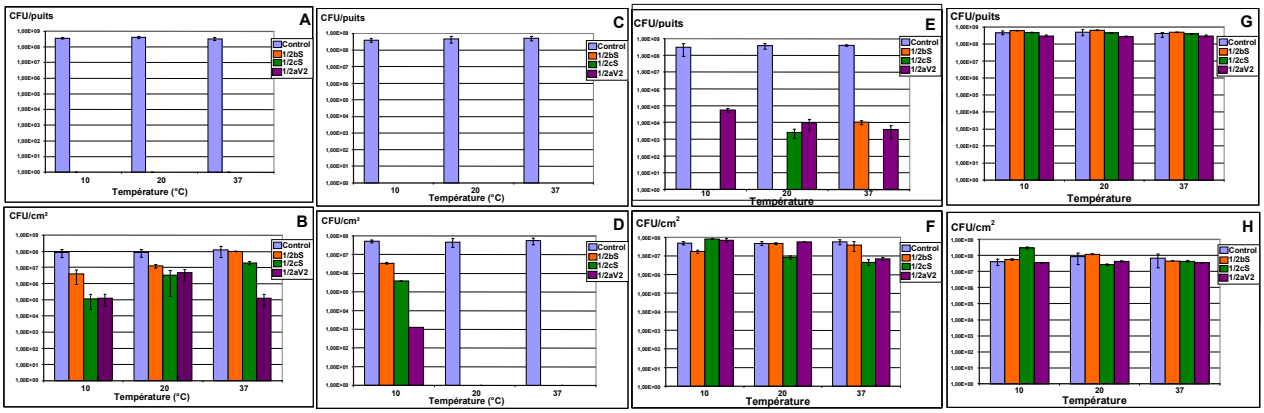
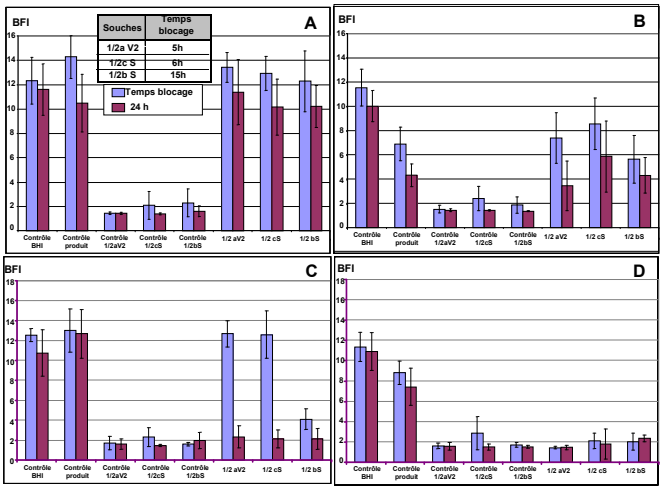


***Figure 1**. Effet des solutions de décontamination 1 (**A**, **B**), 2 (**C**, **D**), 3 (**E**, **F**) et 4 (**G**, **H**) sur la viabilité des cellules planctoniques (**A**, **C**, **E**, **G**) et sessiles (**B**, **D**, **F**, **H**) des souches 1/2bS, 1/2cS et 1/2aV2 à 10, 20 et 37°C.*

à 10°C selon la souche. Pour la solution 1, une réduction de 1 à 3 log était observée aux trois T°C selon les souches. La solution 3 n'était efficace que sur les cellules planctoniques, mais son effet létal était souche- et température-dépendant. Les cellules sessiles n'étaient pas très significativement affectées par le peroxyde d'hydrogène avec une réduction d'1 log maximum (Fig. 1**F**). La solution 4 n'a montré aucun effet dans les conditions testées (Fig. 1**G**, **H**).



Par ailleurs, l'effet d'un traitement préventif sur la colonisation des surfaces était testé avec les solutions 2 à 4. Seule la solution 2 prévenait la formation du biofilm par les 3 souches puisque les billes magnétiques n'étaient pas totalement immobilisées après 24 h d'incubation (Fig. 2). L'effet était plus significatif sans lavage des puits qu'après un lavage. La solution 3 ne retardait la formation du biofilm par les 3 souches que lorsqu'aucun lavage n'était effectué après l'élimination du produit ; cependant, les biofilms étaient formés après 24 h d'incubation. La solution 4 n'avait aucun effet préventif sur la formation du biofilm.

***Figure 2**. Evaluation avec le BioFilm Ring Test® de l'effet préventif des solutions 2 (**A**, **B**) et 3 (**C**, **D**), avec (**B**, **D**) ou sans lavage (**A**, **C**) des puits, sur la formation de biofilm à 37°C par les souches 1/2bS, 1/2cS et 1/2aV2.*

Conclusions

Le dispositif de criblage BRT s'est avéré un outil rapide et reproductible pour évaluer l'efficacité curative ou préventive de produits de décontamination sur les biofilms bactériens. Il peut être utilisé pour cribler des biocides / molécules sur différentes espèces bactériennes en biofilm et dans différentes conditions (temps et conc. d'application, T°C, biofilms multi-espèces…). L'énumération des cellules sessiles et planctoniques viables après traitements permet de compléter les tests d'efficacité des produits avec des données sur la mortalité bactérienne. Notre étude a montré qu'un produit formulé à base d'AQ comme biocide et supplémenté avec un complexe enzymatique se révèle très efficace pour (i) détacher les biofilms de *L. monocytogenes*, (ii) tuer les cellules sessiles et planctoniques et (iii) retarder la colonisation d'une surface lorsqu'il est appliqué en traitement préventif. Par contre, les solutions à base de peroxyde d'hydrogène ou d'acide peracétique n'étaient pas efficaces dans nos conditions de test et aux concentrations recommandées par les fournisseurs. Le dispositif et les méthodologies mis au point peuvent représenter des perspectives intéressantes en vue d'améliorer l'état microbiologique des surfaces dans les ateliers de production et de transformation des produits alimentaires.

Références bibliographiques

[1] Rapport AFSSA, 2009. (http://www.afssa.fr/Documents/MIC-Ra-ListerioseAliments.pdf).
[2] Leclercq A., et al., 2010. Proceeding of the XVII International Symposium on Problems of Listeriosis, p. 56. Porto, 5-8/05.
[3] Hershko-Klement A., et al., 2010. Proceeding of the XVII ISOPOL, p. 47. Porto, 5-8/05.
[4] Almeida G., Magalhaes R., Hogg T. Teixeira P., 2010. Proceeding of the XVII ISOPOL, p. 115. Porto, 5-8/05.
[5] Hormazabal J.C., 2010. Proceeding of the XVII International Symposium on Problems of Listeriosis, p. 28. Porto, 5-8/05.
[6] Gillespie I.A., Mook P., Little C.L., Grant K., Adak G.K., 2010. *Foodborne Pathog. Dis.*, sous presse.
[7] Little C.L., Pires S.M., Gillespie I.A., Grant K., Nichols G.L., 2010. *Foodborne Pathog. Dis.*, **7** : 749-756.
[8] Redmond EC., 2010. Proceeding of the XVII International Symposium on Problems of Listeriosis, p. 161. Porto, 5-8/05.
[9] Chavant P., Gaillard-Martinie, B. Hébraud M., 2004. *FEMS Microbiol Lett.*, **236** : 241-248.
[10] Chavant P., Gaillard-Martinie B., Talon R., Hébraud M., Bernardi T., 2007. *J. Microbiol. Methods,* **68** : 605-612.

L'INFLUENCE DES RESIDUS DE SANG DES CARCASSES, SUR LA QUALITE HYGIENIQUE, TECHNOLOGIQUE ET ORGANOLEPTIQUE DE LA VIANDE

BOURBAB. M[1]., IDAOMAR M. [1]

[1] **Laboratoire de Biologie et Santé, Université Abdelmalek Essâadi, Faculté des Sciences, BP 2121 Tétouan Maroc.**

Introduction

Les résidus du sang des carcasses sont souvent associés à une dégradation de goût de la viande et une diminution de la durée de conservation (Alvarado et al. 2007). Des hémorragies excessives causées par différentes techniques d'étourdissement et d'abattage peuvent augmenter l'hémoglobine contenu dans le muscle qui peut diminuer la durée de vie en augmentant l'oxydation (Alvarado et al., 2007). Ce sujet évaluera cette influence et montrera comment une évacuation totale du sang peut en tirer avantage afin de faire face aux défis rencontrés soit par les importateurs soit par les industriels, notamment ceux ayant accès aux marchés d'exportation régionaux et internationaux.

Matériels et Méthodes

Un total de 200 échantillons de la viande de poitrine et de la cuisse provenant de lots de poulets de chair, vivant les mêmes caractéristiques intrinsèques et extrinsèques et abattus différemment: complètement saigné, non saignés, ou faiblement saignées ont été soumis à différentes analyses une heure et 24 heures post abattage : **L'analyse bactériologique** de la Flore mésophile aérobie totale (FMAT) qui indique le degré de contamination bactérienne globale des viandes (Roberts, 1980) et utilisée comme méthode de contrôle de la qualité hygiénique des carcasses (Cartier, 1993). Sur portions de10 g prélevée de chaque échantillon de100 g en profondeur et non de la surface musculaire au niveau de la poitrine et de la cuisse, Un millilitre de la préparation précédente et des dilutions successives, est mis en culture en profondeur dans une boîte de Pétri stérile, on lui ajoute 15 ml de milieu culture (PCA) L'incubation est faite à 30 °C pendant 72 h. Les colonies apparues sont comptées. **Mesure du pH** : Avec mesure en profondeur et non de la surface musculaire au niveau de la poitrine et de la cuisse, En utilisant Un pH-mètre (Microcumputer pH/mv/temp meter 6171) calibrés à pH 4 et 7. **Mesure de la couleur** : La couleur des échantillons est mesurée par mesure de la lumière réfléchie des échantillons, avec un Colorimètre Lovibond calibré utilisant des cristaux de couleur selon des couleurs Lovibond tintométrique (AOCS Cc 13E-92), qui permet de comparer la lumière réfléchie par les échantillons et celle transmise à travers des couleurs standards.

Conservation *:* 24 échantillons sont conservées séparément chacune isolée dans une boite à moins de 4°C, 12 échantillons provenant de viandes complètement saignées et 12 échantillons provenant de viandes non saignées.

Résultats et discussion :

L'analyse microbiologique de viandes provenant de 3 types d'abattage : (complètement saigné ; moyennement saigné ; faiblement saigné) montre que le taux de FMAT augmente avec le temps selon le degré de saignement et l'effectif le plus représentatif correspond aux viandes faiblement saignées. (Tableau 1)

Type d'abattage	Dénombrement bactérien après mise en culture directement post abattage	Dénombrement bactérien après une mise en culture 24 heures post abattage, stocké à 3°C
carcasses CS	39.10^2	$13.\ 10^2$
carcasses MS	$46.\ 10^2$	28.10^2
carcasses FS	$53.\ 10^2$	88.10^2

Tableau .1 : résultats d'analyses microbiologiques de la viande crue provenant de 3 types d'abattage : complètement saigné(CS) ; moyennement saigné(MS) ; faiblement saigné(FS) ;

Mesures du pH : la moyenne des pHu (pH ultime ou pH à 24 heures) des non saignées 5,58 est inferieure a celle des complètements saignées ; Avec une chute rapide des viandes non saignées depuis environ 7 de départ au 5,58 pendant les 24 heures post abattage ; par rapport au complètement saignées marquée par une diminution progressive depuis 7 au 6, cela mène a une dégradation rapide de la qualité des viandes constatée lors de la conservation. (Tableau 2)

viande de la cuisse							viande de la poitrine				Moyenne des pHu
Temps post mortem (jours)	Type d'abattage	pH 1h	pH 6h	pHu 12h	pH 24h		pH 1h	pH 6h	pHu 12h	pH 24h	
lot 1	NS	5,93	5,92	5,97	5,58		5,95	5,92	5,9	5,9	5 ,85
Lot2	CS	6,56	6,04	6,7	5,94		6,29	6,83	6,8	6.14	6

Tableau 2 : Résultats de mesure du pH post abattage des viandes de poulets de chair provenant de 2 types d'abattage : complètement saignées ; NS: Non saignées et conservées à 3°c.

Avec des viandes de pH faiblement saignées au lieu de non saignées les valeurs du pH deviennent plus proches (tableau 3)

Temps de conservation .à 7°c / Type d'abattage et Lot		viande de la cuisse				viande de la poitrine			
		pH à 7h	pHu à 24h	pH à 48h		pH à 7h	pHu à 24h	pH à 48h	Moyenne des pHu
complètement saignés : C.S	Lot 1	6.5	6.12	6.5		6.1	6.6	6.7	6.36
Faiblement saignés : F.S		6.43	6.25	6.55		6.3	6.3	6.55	6.4
C.S	Lot 2	6.56	6.44	6.6		6.5	6.17	6.6	6.3
F.S		6.67	6.23	6.6		6.37	6.5	6.7	6.36
C.S	Lot 3	6.26	6.45	6.6		6.12	6.45	6.6	6.5
F.S		6.78	6.6	6.7		6.26	6.02	6.75	6.3
C.S	Lot 4	6.66	6.71	6.8		6.54	6.03	6.8	6.35
F.S		6.5	5.58	6.6		6.46	6.4	6.6	6.5

Tableau 3 : Résultats de mesure du pH post abattage des viandes de poulets de chair provenant de 2 types d'abattage : complètements saignée ; FS: faiblement saignées et conservées à 3°c.

Mesure de la couleur : la lumière réfléchie par viandes faiblement saignées : Rouge (0,5.2.0) ; Jaune (0.0.0). La lumière réfléchie par des viandes complètement saignées : Rouge (0.3.0) ; Jaune (0,4.9.90). Des études menées par Nishida et Nishida (1985) et Kranen et al. (1999) ont rapporté qu'il ya des concentrations minimales de myoglobine dans le muscle de poitrine de poulet, responsable de sa couleur claire, nos résultats ajoutent que l'hémoglobine restante fait perdre cette qualité organoleptique.
Conservation : Le début d'apparition de putréfaction est constaté le 9° jour. A ce jour même, parmi les 24 échantillons 9/12 des non saignés sont putréfiés et 1/12 parmi les complètement saignés.

Conclusion

Le sang restant donc dans les carcasses favorise l'activité microbienne; la prolifération des FMAT, une chute rapide du pH, une dégradation de la couleur et une diminution de la date limite de conservation.

Références bibliographiques :

Alvarado, C. Z., Richards, M. P., O'Keefe, S. F., and Wang, H. 2007. The effect of blood removal on oxidation and shelf life of broiler breast meat. Poultry Science. 86:156-161.

CARTIER P. Importance, origine et mode d'appréciation de la contamination salmonellique de la carcasse des Bovins. Examen de 222 vaches de réforme. *Viandes et Prod. Carnés*, 1993, **14**, 35-38.

Nishida, J., and T. Nishida. 1985. Relationship between the concentration of myoglobin and parvalbumen in carious types of muscle tissues from chicken. Br. Poult. Sci. 26:105–115.

Kranen, R. W., T. H. van Kuppevelt, H. A. Goedhart, C. H. Veerkamp, E. Lambooy, and J. H. Veerkamp. 1999. Hemoglobin and Myoglobin content in muscles of broiler chickens. Poult. Sci. 78:467–476.

ROBERTS T. A. The effects of slaughter practices on the bacteriology of the red meat carcasses. *Roy. Soc. Health.J.*, 1980, **100**, 3-9.

EVALUATION DE L'HYGIENE DU PROCEDE D'ABATTAGE ET IMPACT SUR LA QUALITE HYGIENIQUE DE LA VIANDE DE POULETS LOCAUX D'ECOTYPE SUD DU BENIN.

TOUGAN P.U.[1], SALIFOU C.F.A[1]., AHOUNOU G.S. [1], YOUSSAO A.K.I. [1], KPODEKON T.M. [1]

[1] Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Département de Production et Santé Animales, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.

Introduction

Les ressources génétiques aviaires en Afrique de l'Ouest sont principalement représentées par la poule locale domestique (*Gallus gallus domesticus),* la pintade (*Numida meleagris*) et les canards (*Cairina sp.)*. Au Bénin, la volaille constitue la deuxième source de viande après les bovins. La fréquence de consommation est de 21% pour la viande de volaille contre 58% pour les bovins, 13% pour les ovins/caprins et 7% pour le porc (Onigbon et Sodegla, 2006). La disponibilité de cette viande de volailles locales est assurée essentiellement par le secteur avicole traditionnel. La viande de poulet locale ou poulet bicyclette élevée en aviculture familiale est plus savoureuse et plus succulente que celle du poulet commercial (FAO, 2004). En dehors des qualités organoleptiques des viandes de poulets produits localement, les consommateurs ne cernent pas les autres composantes de la qualité de la viande, notamment, la qualité hygiénique qui dépend de la maîtrise et le respect des normes d'hygiène d'abattage. Or, les tueries de volaille des Marchés de Cotonou fonctionnent dans l'informel et échappent aux contrôles des Services Vétérinaires. Cette situation d'ignorance ou de non respect des règles d'hygiène d'abattage, pourrait entrainer des contaminations souvent élevée lors de la préparation des carcasses (Ray, 2001) avec pour corolaire des cas de toxi-infections graves (N'Diaye, 2002). Cette étude vise à évaluer l'hygiène du procédée d'abattage et apprécier la qualité hygiénique des viandes de poulets locaux du Sud-Bénin préparées dans les tueries des Marchés de Dantokpa de Cotonou.

Matériel et méthodes

La présente étude a été réalisée sur des carcasses de poulets locaux d'écotype Sud-Bénin prélevées dans les tueries du marché Dantokpa de Cotonou. Ce marché est le plus grand des marchés du Bénin et à un caractère international. Au total, les travaux se sont réalisés sur 30 carcasses dont 15 provenaient du procédé d'abattage de type 1 et le reste du procédé d'abattage de type 2. Le procédé d'abattage de type 1, est caractérisé principalement par la souillure des carcasses par le contenu du tube digestif lors de l'éviscération et le procédé de type 2 caractérisé par l'absence de contact entre le contenu du tube digestif et la carcasse lors du procédé d'abattage. Après abattage, les carcasses chaudes ont été récupérées dans des sachets Stomacher stériles et ramenées immédiatement au laboratoire. La Décision 2001/471/CE du 8 juin 2001 de la commission des communautés Européennes (UE, 2005) a été utilisée pour apprécier l'hygiène du procédé d'abattage. Cette Décision fixe pour les carcasses de volailles la limite « absence de *salmonella* dans 25g (n=50 ; c=7) d'un échantillon groupé de peau de cou prélevée sur les carcasses après ressuage. Des méthodes standardisées de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) adoptées en 2006 par les Etats membres de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) ont été utilisées pour apprécier la qualité hygiénique des carcasses. L'interprétation des résultats exprimés en log UFC/g de produit analysé est faite suivant les critères microbiologiques du 12 décembre 2000 établis par l'AFNOR. Pour chaque lot de 3 carcasses, un échantillon de 25 g a été prélevé par lot (UE, 2005). Toutes les analyses ont été faites à partir d'une suspension mère (SM) réalisée au 1/10ème dans l'Eau Peptonée Salée (milieu de revivification) après broyage et homogénéisation des analystes. Le broyat ainsi obtenu est de titre 10^{-1}. A partir de ces solutions mères, des dilutions décimales ont été réalisées jusqu'à la dilution 10^{-5}. Les germes recherchés étaient la FAMT, les coliformes thermotolérants, *S. aureus,* les germes anaérobies sulfito-réducteurs et *Salmonella* spp avec les limites respectives fixées en UFC/g dans 1g de produit par les normes AFNOR à 6 log, 3,7 log, 3 log, 2 log et absence. Les méthodes de recherche respectives étaient : ISO 4833 : 2003, ISO 4831 : 2004, ISO 6888, NF ISO 7218 et *la méthode* ISO 6579 : 2002. Les charges des microorganismes dénombrés ont été analysées avec le logiciel SAS (*Statistical Analysis System*, 1991). Les moyennes ont été calculées par la procédure *Proc means* et les fréquences, par la procédure *Proc freq*. Elles ont été comparées par type de procédé d'abattage par le test de t.

Résultats et discussion

Les salmonelles ont été absentes dans tous les échantillons groupés de peau de cou prélevée sur les carcasses des poulets locaux issus des deux types de procédés d'abattage. En se référant à la Décision 2001/471/CE du 8 juin 2001 de la commission des communautés Européennes, l'hygiène des procédés d'abattage des poulets locaux aux marchés Dantokpa de Cotonou est satisfaisante. En se référant à la norme de l'AFNOR, les viandes de poulets locaux issus du procédé d'abattage de type 1 ont été d'une qualité hygiénique non satisfaisante en raison de la FAMT (en moyenne 6,68 log UFC/g), alors que celles des poulets locaux issues du procédé d'abattage de type 2 ont été d'une qualité

hygiénique satisfaisante (tableau I). La charge microbienne moyenne en FAMT des carcasses de poulets locaux issues du procédé d'abattage 1 a été significativement supérieure à celle observée au niveau des carcasses issues du procédé d'abattage 2 (P<0,01). Les cas de contamination par *Salmonella* spp ont été absents sur les deux types de produits. Quant aux coliformes fécaux, les charges respectives étaient restées largement en dessous de la norme pour les deux types de produits. Toutefois, celles dénombrées en moyenne sur les carcasses de poulets locaux issues du procédé 1 (1,15 log UFC/g) étaient significativement plus importantes (P<0,01) que celles enregistrées au niveau des carcasses issues du procédé 2 (0,62 log UFC/g). *E. coli* et *S. aureus* ont été dénombrés sur les carcasses issues du procédé d'abattage de type1 mais absents au niveau des carcasses issues du procédé d'abattage de type 2. Les carcasses de poulets locaux du procédé 1ont été les plus contaminées par les germes ASR (1,39 log *vs* 1,16 log UFC/g ; P<0,05).

Tableau I : Variabilité des charges microbiennes des carcasses de poulets locaux

Germes recherchés		**Carcasses du procédé de type 1**					**Carcasses du procédé de type 2**					**Normes AFNOR**
		E1	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**	**E5**	
FAMT (log UFC/g)	Charge/Echantillon	6,52	6,45	6,61	6,66	6,95	5,75	5,51	5,76	5,97	5,49	6
	Charge moy. ± DS	6,68a ± 0,39					5,71b ± 5,41					
Salmonella Spp.	Charge/Echantillon	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Absence dans 1g
	Charge moy. ± DS	< 1					< 1					
Coliformes fécaux (log UFC/g)	Charge/Echantillon	< 1	0,48	< 1	1,18	0,48	1,48	0,60	1,48	0,78	1,04	3,7
	Charge moy. ± DS	0,62a ± 0,79					1,15b ± 1,03					
E. coli (log UFC/g)	Charge/Echantillon	< 1	0,33	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-
	Charge moy. ± DS	0,06a ± 0,15					< 1b					
S. aureus (log UFC/g)	Charge/Echantillon	1,65	1,7	1,4	1,3	1,48	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2
	Charge moy. ± DS	1,53a ± 1,11					< 1b					
ASR (log UFC/g)	Charge/Echantillon	1,72	1,11	1,18	1,36	1,32	1,11	1,26	1,11	0,90	1,04	3
	Charge moy. ± DS	1,39a ± 0,92					1,16b ± 0,49					
Interprétation :		NC	NC	NC	NC	NC	S	S	S	S	S	

E : Echantillon ; Moy. : Moyenne ; DS : Déviation Standard ; NC : Non Conforme à la norme ; S : Satisfaisant. Les moyennes intraclasses de la même colonne suivies des lettres différentes, diffèrent significativement au seuil de 5%.

La contamination importante des carcasses par la FAMT, a montré que les conditions d'hygiène de travail ont été médiocres (Nana, 2000). Elle s'explique par le fait que le personnel non qualifié peut entrainer une dissémination des germes au cours des opérations d'abattage car, selon N'Diaye (2002), l'abattage des oiseaux sans l'observation préalable d'une diète hydrique peut favoriser la rupture des viscères au cours de l'éviscération et la bactériémie digestive. L'absence de *Salmonella* peut s'expliquer par l'effet de la chaleur produit par l'eau chaude à la phase de la plumaison car, *Salmonella* est sensible à une température supérieure à 50 °C et ne tolère pas la compétition microbienne surtout avec les coliformes fécaux (Ahoussi *et al*., 2008). Quant à *Escherichia coli*, germe indicateur d'hygiène, sa présence correspond à un défaut de la technique d'abattage ou une contamination croisée, mais peut également être due à une contamination par les personnes manipulant les denrées alimentaires (Ghafir et Daube, 2007). La présence des staphylocoques des ASR témoignent des contaminations croisées (Ray, 2001 ; Ahouissi *et al*., 2008) et traduisent la non observance des Bonnes Pratique d'Hygiène (BPH) au niveau des procédés d'abattage des poulets locaux.

Conclusion

Les salmonelles sont absentes dans tous les échantillons groupés de peau de cou prélevée sur les carcasses des poulets locaux issus des deux types de procédés d'abattage. Par contre, le contact du contenu du tube digestif des poulets avec les carcasses lors de l'éviscération a un impact significatif sur la qualité hygiénique des carcasses. Enfin, il est recommandé d'observer des bonnes pratiques d'hygiène au niveau des procédés d'abattage des poulets locaux.

Références bibliographiques

Ahoussi Dahouenon E., Yehouenou B., Hounzangbe-Adote M. S., Soumanou M. M. et Sohounhloue D. C. K., 2008. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin.* 10 (2) 125-136.
FAO, 2004. Production en aviculture familiale.131p
Fofana A., 2004. Mémoire, DEA, Dakar, EISMV/UCAD, 6.
Ghafir Y., Daube G., 2007. *Ann. Méd. Vét., 2007, 151, 79-100.*
N'Diaye M. L., 2002. Mémoire, DEA, Université CHEIK ANTA DIOP, Dakar, Sénégal
Nana G.S., 2000. Thèse de Médecine Vétérinaire, Dakar, Sénégal.
Onibon P.E, Sodegla H., 2006. *Etude de la sous filière aviculture moderne au Bénin*. Rapport intégral. 51pp.
SAS, 1991. SAS/STAT User's guide, vers. 6, 4th ed. Cary, NC, USA, SAS Inst, 120p.
Règlement n°2073/2005 de la Commission du 15 novembre 2005. Journal officiel de l'Union Européenne, L338/24.

UN SPECTROFLUORIMETRE PORTABLE POUR ÉVALUER LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DE LA VIANDE BOVINE

AÏT KADDOUR A., BOUBELLOUTA T., CHEVALLIER I.
UR Typicité des Produits Alimentaires, Département QEA, VetAgroSup Campus Agronomique de Clermont, 89 Avenue de l'Europe, BP 35, F-63370 Lempdes.

Introduction

La pratique actuelle pour déterminer la qualité de la viande et assurer sa sécurité sanitaire repose principalement sur une inspection des services vétérinaires et sur un échantillonnage conséquent. Cette approche semble limitée car elle ne peut garantir totalement la protection des consommateurs. En effet, le contrôle de la totalité des échantillons est techniquement, financièrement et logistiquement impossible. En outre 50 méthodes chimiques, physiques et microbiologiques ont été proposées pour la détection de la contamination et la mesure de la qualité microbienne de la viande (Ellis et al 2002, Nychas et al 2007). La plupart de ces méthodes ne sont pas adaptées pour une détection rapide de la détérioration de la viande. Elles sont laborieuses, longues à mettre en œuvre et par conséquent donnent des informations rétrospectives. La spectroscopie de fluorescence est une technique très intéressante qui a été utilisée pour l'identification bactérienne (Ammor et al 2004, Leblanc et Dufour 2002), la séparation des bactéries et des levures (Bhatta et al 2006), la différenciation entre les micro-organismes appartenant à différentes familles taxonomiques (Giana et al 2003, Leblanc et Dufour 2002, Tourkya et al 2009). Ces études ont démontré le potentiel de la spectroscopie de fluorescence pour suivre les changements physicochimiques observés pendant le stockage de la viande. Néanmoins ces différentes études ont été effectuées sur un spectrofluorimètre de laboratoire qui n'est pas adapté pour les mesures en ligne dans les industries agroalimentaires. L'objectif de la présente étude est de présenter les potentialités d'un spectrofluorimètre portable, composé d'une diode électroluminescente (LED), d'un spectromètre, d'une sonde déportée à fibres optiques et d'une interface informatique pour la détermination de la qualité microbienne de la viande de bœuf hachée.

Matériels et méthodes

Les matières premières – De la viande de bœuf hachée (race Charolaise) a été divisée en portions de 110g puis emballée soit sous air ou sous vide. Les échantillons ont été divisés en 2 groupes. Le premier a été stocké à 5°C et le second à 15°C. Les dénombrements microbiens et les mesures de fluorescence ont été réalisés à 5 °C aux temps (0, 24, 48, 72, 97, 121, 169, 217, 240 et 264h) et à 15°C aux temps (0, 6, 12, 23, 27, 32, 36, 47, 51, 56, 61, 71, 78, 96, 120, 168, 192, et 216 h).
Analyse microbiologiques – Les flores microbiennes ont été dénombrées sur des milieux de cultures sélectifs gélosés et selon des méthodes normalisées : la microflore totale viable cultivable (TVC) a été déterminée sur gélose nutritive PCA (Merck, 1.05463, Darmstadt, Germany) (ISO, 2293). Les *Pseudomonas* ont été dénombrées sur milieu Cetrimide, Fucidine and Cephaloridine (CFC, Oxoid, CM559 supplémenté avec SR 103E, Basingstoke, UK) (ISO, 13720). La microflore lactique a été déterminée sur milieu De Man, Rogosa and Sharpe (MRS, Merck, 1.10660, Darmstadt, Germany). Les levures-moisissures ont été dénombrées sur gélose Oxytetracycline Glucose (OGA, Biokar Diagnostic, 1mL de supplément sélectif a été ajouté à 110mL de milieu de base OGA – BK053, F60000 Beauvais, France). Les dénombrements ont été réalisés en duplicata. Les résultats sont exprimés en Unité Formant Colonie (UFC) par gramme.
Spectrofluorimètre portable – Les spectres de fluorescence (SF) de la viande de bœuf hachée ont été enregistrés en utilisant un spectromètre miniature (IDIL Fibres Optiques, Lannion, France). Trois longueurs d'onde d'excitations ont été testées (280, 320 et 380nm) afin d'obtenir des spectres d'émission sur les plages spectrales 307-460, 346-600 et 410-705nm, respectivement. Chaque spectre de fluorescence est la résultante d'une moyenne de 5 scans. Chaque mesure a été effectuée 5 fois afin d'assurer une bonne répétabilité des résultats. Les SF enregistrés pendant l'altération de la viande lors du stockage ont été analysés à l'aide du logiciel MATLAB 7.0.4 (The MathWorks, Inc).
Régression des moindres carrés partiels - Dans la présente étude la méthode de régression des moindres carrés partiels (PLS) a été utilisée afin de prédire l'intensité de la contamination microbienne de la viande à partir des SF. Les modèles de régression ont été validées par la méthode "leave-one-out cross-validation". La performance des modèles PLS a été évaluée en analysant, le coefficient de détermination de validation (R^2) et le coefficient RPD $=1/(1-R^2)^{1/2}$.

Résultats et discussion

Les spectres de fluorescence de viande hachée – Des spectres typiques de viande hachée enregistrés pendant son altération lors du stockage sont présentés sur la Fig. 1. Les SF obtenus avec la LED 280nm présentent un maximum situé à 350nm (Fig. 1A). Cette bande d'émission peut être attribuée à la fluorescence du tryptophane d'après Tourkya et al (2009). Les SF obtenus avec la LED 320nm présentent un maximum situé à 450nm (Fig. 1B). Cette bande peut être attribuée à la vitamine A et au NADH d'après Skjervold et al (2003) et Le Blanc et Dufour (2002). Les SF obtenus avec la LED 380nm présentent un maximum situé à environ 560nm (Fig. 1C). Skjervold et al (2003) ont identifié la même longueur d'onde d'excitation pour certain constituants du tissu conjonctif de la viande. Les SF enregistrés, après

excitation à 280, 320 et 380 nm au cours de l'altération de la viande lors du stockage, présentent une nette évolution de leur intensité de fluorescence (Fig.1). Cette évolution spectrale suggère que la spectroscopie de fluorescence est sensible aux modifications physicochimiques engendrées par les microorganismes lors de l'altération de la viande.

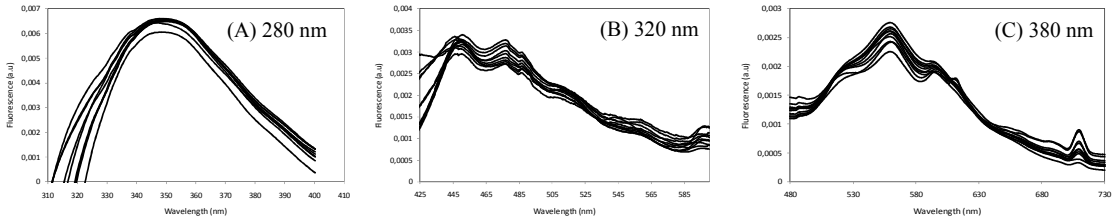


Fig1. Spectres de fluorescence enregistrées sur des échantillons de viande hachée au cours du stockage à 5°C après excitation à 280 nm (A), 320 nm (B) et 380 nm (C) (conditionnement sous vide).

<u>*Modèles PLS pour les échantillons stockés à 5°C*</u> - Les modèles PLS obtenus à partir des spectres enregistrés lors du stockage de la viande à 5°C présentent de bons résultats de régressions pour les trois LED d'excitations (280, 320 et 380nm). Tous les modèles de régressions obtenus présentent d'excellents R^2 (0,82 à 0,99) et de bons coefficients RPD (2,37 à 8,95). Les meilleurs modèles de prédiction pour les TVC sont obtenus avec la LED 320nm pour les échantillons emballés sous vide (R^2= 0,97; RPD= 5,65) et sous air (R^2= 0,94; RPD= 3,94). L'excitation avec la LED 380nm permet d'obtenir les meilleurs modèles de prédiction de la contamination par les bactéries lactiques dans les échantillons conditionnés sous vide (R^2= 0,95; RPD= 4,57) et sous air (R^2= 0,95; RPD= 4,43). Les meilleurs modèles de prédiction pour les levures/moisissures sont obtenus avec la LED 320nm pour les échantillons conditionnés sous vide (R^2= 0,94; RPD= 4,02) et sous air (R^2= 0,96; RPD= 5,05). Enfin, les meilleurs coefficients de régressions pour les *Pseudomonas* sont obtenus avec la LED 320nm aussi bien pour les échantillons conditionnés sous vide (R^2= 0,96; RPD= 5,19) que sous air (R^2= 0,89; RPD= 8.95). Ceci suggère que les différents spectromètres testés peuvent être utilisées pour prédire la charge bactérienne d'un échantillon de viande. Sur la base des résultats obtenus, il semble que la qualité des modèles de prédictions soit indépendante des conditions d'emballage.

<u>*Modèles PLS pour les échantillons conservés à 15 ° C*</u> - Les modèles PLS-R obtenus présentent de bons coefficients de régressions (R^2= 0,59 à 0,96 ; RPD= 1,40 à 4,93) à la fois pour les échantillons emballés sous vide et sous air. Le meilleur modèle PLS pour les TVC (R^2= 0,83; RPD= 2,41) est obtenu avec la LED 280nm pour les échantillons conditionnés sous vide. Cependant, le meilleur modèle PLS, pour les échantillons conditionnés sous air (R^2= 0,96; RPD= 4,84) est obtenu avec la LED 320nm. Les coefficients de régression les plus élevés pour la prédiction des bactéries lactiques sont obtenus en conditionnement sous air (R^2= 0,89; RPD= 3,04) et sous vide (R^2= 0,78; RPD= 2,13) avec les LED 320 et 380nm, respectivement. Les meilleurs modèles de régression pour les levures/moisissures sont obtenus avec la LED 320nm (R^2= 0,89; RPD= 3,02) pour les échantillons conditionnés sous air et avec la LED 380nm pour les échantillons conditionnés sous vide (R^2= 0,96; RPD= 4,93). Enfin, les R^2 et RPD les plus élevés pour la prédiction des *Pseudomonas* ont été calculés pour les conditions sous air (R^2= 0,91; RPD= 3,25) et sous vide (R^2= 0,7; RPD= 1,82) avec les LED 320 et 380 nm, respectivement.

La précision des modèles de régression peut être considérée comme excellente pour les échantillons stockée à 15°C sous vide et sous air. Ceci suggère que les spectrofluorimètres développés pourraient être utilisés pour prédire la charge bactérienne de la viande hachée. Néanmoins, les modèles prédictifs obtenus à 15°C présentent des valeurs de R^2 et de RPD plus faibles que pour les modèles obtenus à partir des échantillons stockés à 5°C.

Conclusion

Ce travail préliminaire démontre qu'il est possible de déterminer avec beaucoup de précisions la charge microbienne d'une viande de bœuf hachée en utilisant un spectrofluorimètre portable équipé d'une LED (280, 320, et 380 nm), d'un spectromètre et d'une sonde déportée à fibres optiques. Cette étude semble très prometteuse pour le développement d'un outil portable permettant de réaliser des mesures rapides et en ligne de la qualité microbiologique de la viande de bœuf.

References

Ellis D. I., Broadhurst D., Kell D.B., Rowland J.J., Goodacre R., 2002. Appl. Environ. Microbiol., 68, 2822-2828.
Nychas G.-J. E., Douglas L.M., Sofos, J.N. 2007. In M.P. Doyle & L. R. Beuchat (Eds.), Food microbiology: Fundamentals and frontiers (3rd ed., pp. 105-140). Washington, DC: ASM Press.
Ammor S., Yaakoubi K., Chevallier I., Dufour E., 2004. J. Microbiol. Meth., 59, 271-281.
Leblanc L., Dufou, E., 2002. FEMS Microbiol. lette, 211, 147-153.
Bhatta H., Goldys E.M. Learmonth R.P., 2006, Appl. Microbiol. Biotech., 71, 121-126.
Giana H.E., Silveira L., Zangaro R.A., Pacheco M.T.T. 2003, J. Fluoresc., 13, 489-493.
Tourkya B. Boubellouta T., Dufour E., Leriche F. 2009. Curr Microbiol., 58, 39-46.

LUTTE CONTRE LES MOISISSURES INDESIRABLES DANS LE SAUCISSON SEC

FONTANILLE P., LEROY M-L., LARROCHE C.

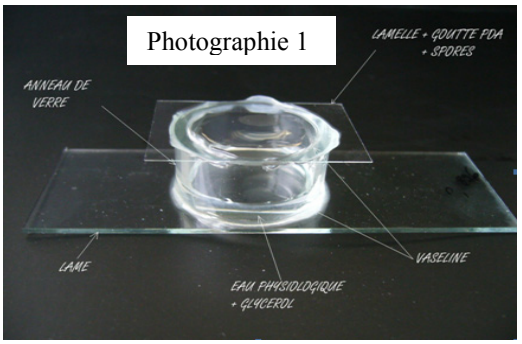
Clermont Université, Université Blaise Pascal - Laboratoire de Génie Chimique et Biochimique, 24 avenue des Landais, F-63 174 Aubière Cedex, France

Introduction

L'origine du saucisson sec, et de la charcuterie en général, est très ancienne. Certains l'attribuent aux Celtes, les autres aux Romains ou bien encore aux Grecs. Dans tous les cas, le procédé de salage et séchage des viandes a été un des premiers à permettre de conserver le produit de la chasse et de l'élevage de nos ancêtres. Il est aujourd'hui bien maîtrisé. Afin d'assurer la protection et l'aspect du saucisson, des souches sélectionnées de *Penicillium nalgiovensis* sont notamment ensemencées à la surface des boyaux lors de production industrielles (Bottom 1990, Sunesen 2003). Elles permettent le développement d'une fleur blanche au cours des procédés d'étuvage et de séchage. Cependant, il subsiste un développement incontrôlé de moisissures qualifiées d'indésirables (de couleur verte le plus souvent) au cours du procédé. Cette moisissure verte, lorsqu'elle est légère, est signe indiscutable du véritable saucisson sec artisanal et ne gêne alors pas le consommateur lors de l'acte d'achat. Mais lorsqu'il s'agit de productions industrielles, c'est un saucisson totalement blanc qui est recherché. S'il y a contamination, il est donc nécessaire de brosser puis talquer les saucissons, ce qui engendre un surcoût pour l'industriel. Pour répondre aux attentes des salaisonniers face à cette problématique, l'objectif de cette étude est d'optimiser la méthode de préparation des cultures fongiques commerciales actuellement utilisées pour avancer leur stade physiologique et leur permettre une meilleure implantation sur le boyau et ainsi bloquer plus efficacement le développement des moisissures sauvages. Ce projet s'inscrit dans l'axe « Maitrise de l'hygiène et de la sécurité sanitaire » du pôle de Compétitivité Innoviandes en collaboration avec l'ADIV à Clermont-Ferrand et le laboratoire de Génie Chimique et Biochimique de l'Université Blaise Pascal à Clermont-Ferrand. L'objectif de ces travaux est d'étudier l'influence de conditions opératoires du procédé de fabrication du saucisson sec, telles que l'a_w et la température, sur la croissance et la germination de *Penicillium nalgiovensis* et de la souche de moisissure indésirable verte (Pardo 2006). L'influence de l'état physiologique de la moisissure au moment de l'ensemencement est également observée.

Matériel et Méthodes

La suspension de spores de *P.nalgiovensis* est préparée à partir de 100mg de lyophilisat commercial auquel sont ajoutés 10mL d'eau physiologique stérile. La souche verte a été isolée de la surface d'une rosette issue d'une production industrielle. Les souches sont cultivées sur du milieu PDA dont l'activité de l'eau peut être modifiée par ajout de glycérol. *Etude de la germination* : des montages en puit sont réalisés à partir de lames, lamelles et anneaux de verre d'environ 2cm de diamètre et 1,5cm de hauteur (Photographie 1). L'anneau de verre est collé à la lame grâce à de la vaseline puis recouvert d'une lamelle portant une goutte de milieu gélosé PDA. Celle-ci est inoculée par des spores de *P.nalgiovensis* ou de la souche verte par un ensemencement en stries. Les montages sont réalisés afin d'étudier la germination des souches dans différentes conditions d'a_w : 0,99, 0,95, 0,90, 0,85, 0,80 et 0,75 et à différentes températures. Les montages sont examinés toutes les 2 heures au microscope grossissement x20. Les spores sont considérées comme germées lorsque la taille du tube de germination est égale ou supérieure au diamètre de la spore. *Suivi de la croissance* : Les boites de Pétri contenant le milieu PDA modifié ou non sont inoculées par un dépôt central de 10µl de suspension. Comme pour l'étude de la germination, six valeurs d'activité de l'eau 0,99, 0,95, 0,90, 0,85, 0,80 et 0,75 sont testées à différentes températures 11, 17, 20 et 25°C. Les boites de Pétri sont examinées périodiquement et 2 diamètres pris à angle droit sont mesurés pour chaque colonie. L'expérience est suivie pendant 15 jours. Les vitesses de croissance, mesurées en mm/jour, sont obtenues pour chaque solution, température et valeur d'a_w par régression linéaire des courbes de croissance. *Revivification des spores et étude de cultures mixtes* : Des boites de Pétri contenant du milieu PDA (a_w = 0,94) sont inoculées par un dépôt central de 10 µl contenant un mélange de la suspension de la souche verte et de *P.nalgiovensis* en proportion variable : 1/1, 4/5, 1/2, 1/10, et 1/100. Ces mêmes mélanges sont laissés à température ambiante pendant 48 heures afin de faire pré-germer les spores, puis sont déposés de la même manière. Les boites sont ensuite scellées à l'aide de Parafilm et mises à incuber à 22°C pendant un minimum de 7 jours.



Photographie 1

Le but de cette étude est de connaître la dynamique de la population de *P.nalgiovensis* et de la souche verte en fonction de différentes valeurs de température et d'a_w afin de développer des stratégies de contrôle. Ces valeurs sont choisies afin de recréer les conditions utilisées lors du procédé de fabrication du saucisson. L'approche utilisée repose sur la mesure du temps de germination et de la vitesse d'extension radiale. Les résultats obtenus pour les deux souches à différentes a_w et à 25°C sont présentés dans la figure 1. Les deux souches sont capables de germer totalement aux valeurs d'a_w choisies. A 25°C comme aux autres températures testées (données non présentées), leurs temps de germination sont relativement similaires pour une même valeur d'a_w. Dans tous les cas, le temps de germination des deux souches augmente lorsque l'a_w diminue. Une valeur limite d'a_w pour le développement de ces micro-organismes est obtenue à 0,80. Comme pour la germination, la croissance des deux souches est sous l'influence de la température et de l'a_w. Les vitesses moyennes de croissance des deux souches sont assez proches, avec un optimun pour une valeur d'a_w de 0,91 et une température de 20°C. Ces paramètres se retrouvent durant le procédé de fabrication du saucisson et plus particulièrement en fin d'étuvage - début séchage. Il n'est donc pas possible d'éviter le développement de cette moisissure indésirable dès lors qu'elle est présente sur le saucisson.

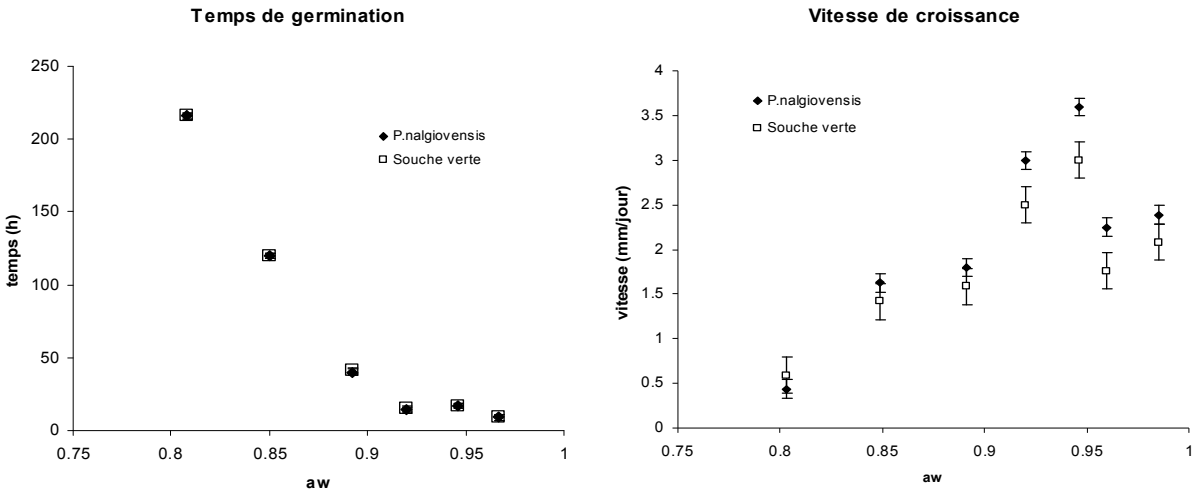


Figure 1 : Temps de germination et vitesse de croissance de *P. nalgiovensis* et de la souche verte en fonction de l'a_w à 25°C.

A la suite de ces résultats quelques solutions qui pourraient permettre de limiter l'implantation des moisissures vertes ont été envisagées. Des essais de revivification de spores à partir de sachets de lyophilisats commerciaux ont montré des variations significatives en fonction du dépassement ou non de la DLC (résultats non présentés). Ce paramètre doit donc être strictement respecté. Le nombre de spores à pulvériser à la surface des boyaux des saucissons pourrait également être augmenté. A titre informatif, le nombre de spores nécessaires pour couvrir la surface d'un saucisson sec est de $2{,}99.10^9$ spores soit $7{,}9.10^6$ spores/cm^2. Cela représente l'équivalent en spores d'1,25 litre de solution d'inoculation en conditions industrielles. Il semble également que la pré-germination de *Penicillium nalgiovensis* avant pulvérisation soit un moyen efficace de contrer la croissance de la souche indésirable (résultats non présentés).

Conclusions

Ce travail expérimental préliminaire a permis de mettre en avant quelques solutions pour limiter l'implantation des moisissures vertes en agissant sur l'implantation de *P. nalgiovensis* au début du procédé. Par contre, la variation des paramètres de température et d'a_w pendant le procédé de fabrication du saucisson ne favorise le développement ni de l'une ni de l'autre des souches. Il sera donc difficile d'éliminer la souche verte sur des paramètres cinétiques. Toutefois, il semble que la pré-germination de *P. nalgiovensis* avant pulvérisation soit un moyen efficace de contrer la croissance de la souche indésirable. Des études complémentaires de cultures mixtes sont donc à envisager sur de réels saucissons.

Références bibliographiques

Bottom B., Breton A., Fevre M., Gauthier S., Guy P., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., Veau P., 1990, Edition Masson, p158-159, 180-181.
Pardo E., Malet M., Marin S., Sanchis V. & Ramos A.J., 2006, International Journal of Food Microbiology, 25-31.
Sunesen L.O, Stanhke L.H, 2003, Meat Science, 935-948.

Remerciements

Nous voudrions remercier l'ADIV pour le soutien financier apporté à cette étude

BASES BIOLOGIQUES DE LA QUALITE & GENETIQUE - GENOMIQUE

Conférences invitées

Communications

L'ADIPOSITE DES CARCASSES ET DES VIANDES A LA LUMIERE DES INTERACTIONS TISSUS ADIPEUX-MUSCLES AU COURS DE LA CROISSANCE

BONNET M.[1], LOUVEAU I. [2,3], PICARD B. [1], GONDRET F. [2,3], LEFAUCHEUR L. [2,3], CHILLIARD Y. [1], CASSAR-MALEK I. [1]

[1]INRA, UR1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France
[2]INRA, UMR1079 SENAH, 35590 Saint-Gilles, France
[3]Agrocampus Ouest, UMR1079 SENAH, 35000 Rennes, France

Introduction

Le dépôt de lipides, coûteux en énergie, compromet l'accrétion protéique au cours de la croissance, diminue le rendement de viande produite et donc l'efficacité de production des animaux de boucherie. Améliorer cette efficacité sans nuire à la teneur en lipides de la viande, qui joue un rôle positif dans l'appréciation sensorielle, implique d'identifier des stratégies pour moduler les dépôts lipidiques de façon tissu-spécifique. Le dépôt de lipides et l'accrétion protéique accompagnent la croissance des tissus adipeux (TA) et des muscles squelettiques. Les variations des teneurs en lipides et protéines corporels en réponse à divers facteurs (âge, sexe, génotype des animaux, alimentation…) suggèrent des interactions entre la croissance des TA et celle des muscles (Palsson, 1955 ; Owens et al, 1995). Peu d'études ont directement identifié l'origine et les mécanismes des interactions entre ces tissus (Argiles et al, 2005 ; Dyck et al, 2006 ; Eckardt et al, 2008). Cet article a pour objectif de présenter les bases biologiques de la croissance des TA et des muscles, puis les mécanismes d'interaction possibles entre cellules adipeuses et musculaires. Une meilleure connaissance de ces interactions est un préalable à la proposition de leviers d'action pour orienter les nutriments vers l'accrétion protéique ou vers le dépôt de lipides selon des objectifs de production déterminés, *i.e.* efficacité de la croissance et/ou qualité de la viande.

I- Les bases biologiques de la croissance des tissus adipeux

Pour la plupart des mammifères, deux types distincts de TA (blanc et brun) coexistent ou se succèdent au cours de la croissance et selon le degré d'exposition au froid. Le TA blanc stocke de l'énergie principalement sous forme de triglycérides (lipides de réserve). Le TA brun est spécialisé dans la production de chaleur (thermogenèse), notamment chez les mammifères nouveau-nés, les rongeurs et les animaux hibernants. Ces tissus diffèrent aussi par la morphologie des adipocytes, type cellulaire prédominant des TA. Par exemple, le cytoplasme des adipocytes blancs contient une seule vacuole lipidique et peu de mitochondries, alors que celui des adipocytes bruns renferme plusieurs gouttelettes lipidiques et de nombreuses mitochondries. De plus, ces adipocytes bruns sont équipés d'une protéine découplante (UCP1 pour uncoupling protein 1) jouant un rôle clé dans la thermogenèse. Le porc se distingue des autres espèces par l'absence de TA brun et l'absence d'expression de l'UCP1 (Trayhurn et al, 1989 ; Berg et al, 2006).
Le TA se développe dans différents sites anatomiques, les principaux étant localisés autour des viscères, au niveau sous-cutané et autour des muscles (TA intermusculaire). Il existe aussi des dépôts d'importance quantitative moindre au sein des muscles squelettiques (TA intramusculaire). Plus de 80% des triglycérides musculaires sont stockés dans les adipocytes intramusculaires localisés entre les faisceaux de fibres au niveau du périmysium ou entre les fibres musculaires au niveau de l'endomysium (Gondret et al, 1998), alors que moins de 20% des triglycérides sont dans des gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme des fibres musculaires (lipides intra-myocellulaires). Ces localisations anatomiques sont identiques chez tous les mammifères, mais la part relative (/poids total de TA) de chaque dépôt adipeux varie en fonction de l'espèce, du sexe et de l'âge (Vernon, 1986). Par exemple, chez un porc de 110 kg (poids commercial d'abattage atteint vers 160 jours), le TA sous-cutané représente de 67 à 75% des TA (Monziols et al, 2005) alors qu'il ne représente qu'environ 15% chez le bovin Holstein de 700 kg (Robelin, 1986).
Dans la plupart des espèces, les premiers adipocytes sont présents avant la naissance, la chronologie d'apparition variant selon les espèces et les sites anatomiques considérés. Chez le bovin, les TA internes et intermusculaire ou sous-cutané apparaissent chez le fœtus respectivement, à 110 (40% de la gestation) et 180 (66% de la gestation) jours post-conception (jpc) (Vernon, 1986). Chez cette espèce, les TA sont bruns chez le fœtus et le nouveau-né (Smith et al, 2004), puis perdent leurs caractéristiques métaboliques de TA brun pour exprimer celles des TA blancs. Seul le TA sous-cutané serait blanc dès sa formation. Chez le porc, les premiers foyers d'adipocytes apparaissent au niveau sous-cutané entre 52 et 56 jpc (environ 47 % de la gestation) (Vodovar et al, 1977), puis dans la région périrénale entre 70 et 90 jpc (60 et 80% de la gestation) (Hausman et Thomas, 1986). Les adipocytes intramusculaires apparaissent après la naissance, soit après 3 mois de vie chez le bovin (Bonnet et al, 2010), et au cours du premier mois de vie chez le porc (Hauser et al, 1997). Les TA représentent de 4 à 7% du poids vif à la naissance (Robelin et Casteilla, 1990) et entre 7 et 35%, respectivement chez des bouvillons Blanc Bleu Belge et des Noir Japonais (Gotoh et al, 2009). Chez le porc, ils représentent seulement de 1 à 2% du poids vif à la naissance, et de 15 à 20% à 110 kg (Mourot, 2001). La masse adipeuse augmente donc essentiellement après la naissance. Au cours de la croissance, et dés la conception, la croissance des TA résulte de l'augmentation du nombre (hyperplasie) et/ou de la taille (hypertrophie) des adipocytes.

- **Déterminisme du nombre d'adipocytes**

Le nombre d'adipocytes augmente essentiellement durant les phases précoces de la croissance des TA. Il évoluerait peu par la suite et serait fixé dès l'enfance et l'adolescence chez l'homme (Spalding et al, 2008) ou à 100 kg de poids vif chez le bovin (Robelin et Casteilla, 1990). Même si l'hyperplasie est considérée comme très faible chez les mammifères adultes, elle participerait cependant au renouvellement des adipocytes (Spalding et al, 2008) et à la croissance des TA quand l'organisme est exposé à une prise calorique excessive. Ainsi, chez le bovin le nombre d'adipocytes augmente lorsque la taille moyenne des adipocytes atteint 90 µM (Garbut et al, 1979 ; Robelin, 1981 ; Schoonmaker et al, 2004). L'augmentation du nombre d'adipocytes dépend de la formation de nouveaux adipocytes à partir de précurseurs adipocytaires. Après une phase d'hyperplasie, les cellules souches mésenchymateuses se différencient en préadipocytes, qui eux même présentent une expansion clonale limitée avant de se différencier en adipocytes (Grégoire et al, 1998). On ignore ainsi si l'augmentation post-natale du nombre d'adipocytes résulte d'une hyperplasie réelle ou de la simple différenciation de cellules souches ou préadipocytes quiescents. Des processus de dédifférenciation ou de transdifférenciation pourraient aussi être impliqués dans la formation de nouveaux adipocytes (Barbatelli et al, 2010). Ainsi, par exemple, l'évolution des TA bruns en TA blancs chez le bovin au cours de la période post-natale sans variation du nombre d'adipocytes pourrait résulter d'une transformation des adipocytes bruns en adipocytes blancs.
Les mécanismes de différenciation des préadipocytes en adipocytes ont été bien décrits *in vitro* à partir de lignées cellulaires de rongeurs (Grégoire et al, 1998 ; Boone et al, 2000). Ces mécanismes semblent communs à toutes les espèces même si la cinétique d'expression des régulateurs transcriptionnels clés varie (Ding et al, 1999). Cependant, les caractéristiques des cellules souches mésenchymateuses ainsi que les mécanismes de leur prolifération sont peu connus. Ces cellules seraient capables de se différencier en plusieurs types cellulaires (Bosnakovski et al, 2005 ; Grégoire et al, 1998). Chez la souris, deux cellules souches distinctes ont été identifiées selon la localisation des TA : l'une est à l'origine des adipocytes bruns et des cellules musculaires (Seale et al, 2008), et l'autre des adipocytes bruns et des adipocytes blancs (Tseng et al, 2008). Les adipocytes blancs pourraient aussi être issus de la différenciation d'une cellule précurseur qui leur serait spécifique. Ces hypothèses restent à confirmer ou à invalider, en caractérisant par exemple les cellules précurseurs issues d'espèces dépourvues d'adipocytes bruns telles que le porc et d'espèces qui possèdent des adipocytes bruns et/ou blancs telles que le bovin. Cette diversité d'origine des adipocytes pourrait ainsi être à la base de la diversité structurale et fonctionnelle décrite à ce jour pour les TA selon la localisation anatomique et les espèces.

- **Déterminisme de la taille des adipocytes**

La taille des adipocytes augmente tout au long de la croissance des TA. La plasticité de la taille d'un adipocyte est très importante puisque son diamètre moyen passe d'environ 40 à 115 µm entre la naissance et l'âge adulte chez le bovin (Robelin et Casteilla, 1990) ou de 38 à 62 µm entre 30 et 110 kg chez le porc en croissance (Gardan et al, 2006). La taille de l'adipocyte dépend essentiellement de la quantité de triglycérides stockés dans la (adipocytes blancs) ou les (adipocytes bruns) gouttelette(s) lipidique(s) qui occupe(nt) la majeure partie du volume cellulaire. La teneur en triglycérides des adipocytes résulte de l'équilibre entre les voies de stockage et de mobilisation des triglycérides. Les principales voies de stockage sont : l'hydrolyse des triglycérides circulants provenant de l'alimentation ou de la sécrétion hépatique, et le prélèvement tissulaire des acides gras ainsi produits, la biosynthèse *de novo* des acides gras, et l'estérification des acides gras issus de ces deux voies. Les principales voies de mobilisation sont la lipolyse des triglycérides suivie de lexportation des acides gras vers des sites d'utilisation (fibres musculaires par exemple) et leur oxydation (Bonnet et al, 2010). Chez des espèces alimentées avec des régimes pauvres en graisses, la biosynthèse des acides gras *de novo* (ou lipogenèse) contribue de manière majeure au dépôt de lipides. La spécificité du bovin comparativement aux monogastriques est que l'un des précurseurs de la biosynthèse des acides gras est l'acétate plutôt que le glucose, du fait de la production d'acides gras volatils par le rumen. Néanmoins, les adipocytes intramusculaires de bovin utiliseraient préférentiellement le glucose (Smith et Crouse, 1984) comme chez les monogastriques. Le stockage des lipides prévaut lorsque le bilan énergétique des animaux est positif. A l'inverse, la mobilisation des lipides est plus active lorsque le bilan énergétique est négatif (Chilliard et al., 2000).

II- Les bases biologiques de la croissance des muscles

- **Mise en place du tissu musculaire**

La mise en place du tissu musculaire (myogenèse) est un processus biologique complexe, conservé entre les vertébrés, et contrôlé notamment par les facteurs de régulation myogéniques (MyoD, Myf5, MRF4 et myogénine) et d'autres facteurs de croissance (HGF, FGF, IGF, myostatine, par exemple) (Biressi et al, 2007). Chez les espèces d'intérêt agronomique, une bonne connaissance de l'ontogenèse des caractéristiques musculaires est d'un grand intérêt car la quantité et la qualité de la viande sont intrinsèquement liées aux propriétés structurales et métaboliques des muscles (Picard et al, 2002). Chez les mammifères adultes, la masse musculaire, qui représente environ 55% du poids vif, est déterminée par la combinaison du nombre total de fibres musculaires (NTF) et de leur aire de section transversale (AST). La croissance musculaire est un processus continu qui se caractérise par une augmentation du NTF (hyperplasie), et du diamètre et de la longueur des fibres (hypertrophie). Chez le fœtus, la phase hyperplasique, qui se réalise sans variation importante du diamètre des fibres, est prédominante. Le NTF est définitivement fixé à environ 180

jpc chez le bovin (66% de la gestation) (Robelin et al, 1991) et 90 jpc chez le porc (80% de la gestation) (Wigmore et Stickland, 1983). Au-delà de ces âges, la croissance du muscle se fait exclusivement par hypertrophie des fibres, phénomène qui se poursuit au cours des périodes périnatale et postnatale avec une intensité plus marquée dans les fibres qui vont évoluer vers le type rapide glycolytique (Brandstetter et al, 1998 ; Cooper et al, 1970 ; Lefaucheur et Vigneron, 1986). Ce processus d'hypertrophie implique la prolifération et la fusion de cellules satellites avec les fibres existantes comme dans d'autres espèces de vertébrés (Biressi et al, 2007). Contrairement aux myoblastes primaires et secondaires, les cellules satellites sont étroitement associées aux fibres musculaires et sont localisées entre la lame basale et la membrane sarcoplasmique des fibres. Le stade auquel apparaissent les cellules satellites reste peu connu mais une étude signale leur existence dés 63 jpc chez le bovin (Russel et Oteruelo, 1981).
Les fibres musculaires sont hétérogènes à la fois sur le plan morphologique (taille) et physiologique (propriétés contractiles et métaboliques) (Lefaucheur, 2010). Au moins deux populations distinctes de précurseurs myogéniques sont à l'origine de deux générations successives de fibres. Chez le bovin, la première génération de cellules myogéniques apparaît à environ 30 jpc et se différencie en fibres primaires qui évolueront en fibres lentes à métabolisme oxydatif (fibres de type I) à environ 180 jpc. La deuxième génération de cellules myogéniques prolifère entre 90 et 180 jpc et donne naissance à des fibres secondaires qui se différencieront essentiellement en fibres rapides (de types IIA et IIX) ainsi qu'en fibres de type I et IIC (hybrides) avant la naissance. Chez le porc, la première génération se met en place entre 35 et 50-55 jpc, suivie par une seconde génération entre 50-55 et 90 jpc (Beerman et al, 1978). L'acquisition de la maturité contractile et métabolique des muscles résulte de modifications de l'expression d'un grand nombre de gènes codant notamment les isoformes de protéines contractiles et d'enzymes du métabolisme énergétique au cours du dernier tiers de la gestation chez le bovin (Lehnert et al, 2007; Sudre et al, 2003; Chaze et al, 2008, 2009) et lors des premières semaines après la naissance chez le porc (Lefaucheur et Ecolan, 2007). Bien que controversée, l'existence d'une troisième génération a été proposée chez les mammifères de grande taille (Lefaucheur et al, 1995 ; Mascarello et al, 1992 ; Picard et al, 2002). Comparés à ceux du porc, les muscles des bovins sont plus matures à la naissance, comme en témoignent la disparition plus précoce des formes développementales (embryonnaire et fœtale) de chaînes lourdes de myosine (fin de gestation chez le bovin contre 15 j après le naissance chez le porc) et la mise en place des isoformes adultes (dernier trimestre de gestation chez le bovin et premières semaines post-natales chez le porc (Lefaucheur et al, 1995 ; Suzuki et Cassens, 1980 ; Gagnière et al, 1999)).

- **Déterminisme du nombre et de la taille des fibres musculaires**

Les fibres primaires et secondaires sont issues respectivement de la fusion des myoblastes embryonnaires et fœtaux, cellules myogéniques dérivées du dermomyotome (Bonnet et al, 2010). La variabilité entre espèces du NTF est infiniment plus élevée que celle de la taille des fibres musculaires (Plaghki, 1985). La plasticité du NTF provient principalement de la variabilité du nombre de fibres secondaires qui est influencé par la nutrition maternelle chez le porc (Dwyer et al, 1994 ; Markham et al, 2009) ou par des facteurs liés au génotype comme la mutation du gène myostatine chez les bovins culards (Bonnet et al, 2010). En revanche, le nombre de fibres primaires semble davantage contrôlé par des facteurs intrinsèques à l'animal et paraît donc peu influencé par la manipulation nutritionnelle in utero. Une fois le NTF fixé, la plasticité de la croissance musculaire est liée à la variation de l'hypertrophie des fibres. A même poids vif, une corrélation négative de - 0.3 à - 0.8 est rapportée entre le NTF et l'AST des fibres chez le porc (Kim et al, 2008 ; Rehfeldt et al, 2000).
Une comparaison de l'évolution des protéomes musculaires bovins et porcins (Picard et al, 2010) montre que des protéines telles que l'α-fœtoprotéine, l'albumine, la transferrine et la fétuine sont particulièrement abondantes durant les premiers stades de myogenèse. Ces protéines pourraient jouer un rôle dans la myogenèse précoce, et donc dans la détermination du NTF. Les données chez le bovin montrent également que l'expression de la protéine α-énolase (détectée spécifiquement dans les fibres lentes issues de la première génération de myoblastes) chute au cours de la vie fœtale, alors que celle de la β-énolase augmente. L'α-énolase pourrait ainsi être un marqueur des fibres primaires dans les différentes espèces. Un pic d'expression de la Heat Shock Protein 27 (HSP27) a été observé à 180-210 jpc chez le bovin, et pendant la première semaine post-natale chez le porc, c'est-à-dire à une période caractérisée par une intense maturation contractile et métabolique des muscles. Ceci confirme le rôle potentiel de la HSP27 dans la transition entre la prolifération des myoblastes secondaires et la différenciation et / ou la maturation des fibres.

III- Les interactions entre les tissus adipeux et musculaires

Les interactions entre TA et muscles peuvent concerner 1) les phases très précoces de la mise en place des tissus et notamment la régulation de l'orientation des cellules précurseurs vers les lignages adipeux ou musculaires, et 2) les phases plus tardives de la croissance et notamment la régulation du partage des nutriments entre TA et muscle. Les allométries de croissance respectives des tissus (nerf, os, muscle et TA) montrent que la vitesse relative de croissance du TA augmente quand celle du muscle diminue. La fixation du NTF avant la naissance chez le bovin et le porc, est concomitante avec l'apparition et la croissance par hyperplasie et hypertrophie des TA. Ainsi, le tissu musculaire plus précoce participerait à la régulation de la détermination et de la différenciation des précurseurs adipocytaires, ainsi qu'à la régulation de l'hypertrophie des adipocytes durant les phases précoces de la croissance des tissus (Figure 1). Le partage des nutriments entre muscle et TA est susceptible lui aussi d'être modifié, notamment *via* des interactions entre ces tissus, durant toutes les phases de développement. Des interactions différentes, parfois préférentiellement orientées d'un tissu vers l'autre, se succéderaient et/ou seraient concomitantes selon le stade de développement (Figure 1). De

telles interactions ont été peu décrites mais sont fortement suggérées par la variabilité des dépôts lipidiques,relativement au nombre et à la taille des fibres induite par des facteurs intrinsèques (génotype, sexe) ou extrinsèques (nutrition, environnement) à l'animal durant la croissance.

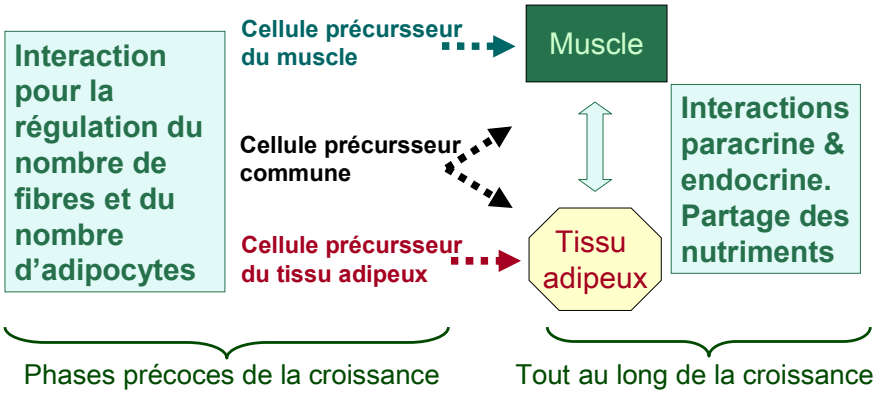


Figure 1 : Schématisation des deux grands types d'interaction entre les tissus adipeux et musculaire qui se succèdent ou sont concomitantes selon les phases de la croissance des tissus.

- **Croissance fœtale : des interactions lors de la détermination et de la différenciation des précurseurs adipeux et myogéniques**

Des relations ou des interactions entre la croissance musculaire et la croissance adipeuse sont fortement suggérées par des variations inverses et simultanées du NTF et du nombre d'adipocytes en réponse à des modifications de l'environnement intra-utérin, et notamment selon la nutrition maternelle et fœtale, ou selon le génotype des fœtus. Des variations inverses du NTF et de l'adiposité surviennent ainsi lorsque l'alimentation maternelle est modifiée avant la période qui correspond à la fixation du NTF. Chez la brebis, une diminution de l'apport en nutriments de 50% (par rapport aux besoins en énergie : entretien plus gestation) entre 28 et 80 jpc diminue le nombre de fibres secondaires et le rapport nombre de fibres secondaires/primaires dans le muscle fœtal (Brameld et Daniel, 2008) et augmente le poids de TA périrénal du fœtus en fin de gestation (Bispham et al, 2005). Cela entraîne une augmentation de l'épaisseur de TA sous-cutané, de la taille des adipocytes périrénaux et du poids absolu ou relatif (/ poids vif) des TA viscéraux chez l'agneau entre 4 mois et 1 an d'âge (Daniel et al, 2007 ; Ford et al, 2007). Chez le porc, des fœtus présentant un retard de croissance intra-utérin (reflet d'une sous-nutrition fœtale) au sein d'une portée donnée, ont un dépôt de lipides dans les fibres plus élevé pendant la période foetale (Karunaratne et al, 2005). A la naissance, ces porcelets ont un NTF réduit (Gondret et al, 2005 ; Rehfeldt and Khun, 2006), et présentent une adiposité corporelle et des niveaux d'expression de marqueurs adipocytaires plus faibles que leurs congénères de portée de poids moyen (Williams et al, 2009 ; Ramsay et al, 2010). A 6 mois d'âge, ils présentent à l'inverse une adiposité corporelle plus élevée (TA sous-cutané et périrénal), une teneur en lipides intramusculaires supérieure, et des fibres musculaires plus grosses probablement en relation avec leur NTF plus faible (Gondret et al, 2006 ; Rehfeldt et al, 2008). Ainsi, chez le porc une sous-nutrition fœtale induirait un retard temporaire de différenciation des TA, au moins au niveau sous-cutané, mais une adipogenèse plus prononcée à long terme (Gondret et al, 2009). Globalement, il semble qu'une réduction du NTF pendant la phase fœtale diminue le potentiel de croissance musculaire et coïncide avec un développement accru des dépôts adipeux pendant la période post-natale, probablement en relation avec un format adulte réduit et une maturité physiologique des animaux plus avancée à même poids vif.
Les variations des paramètres cellulaires de la croissance fœtale des TA et des muscles suggèrent une régulation de l'équilibre entre le NTF et le nombre d'adipocytes. Cette régulation pourrait concerner la détermination d'un précurseur cellulaire commun préférentiellement vers les lignages adipeux ou musculaires. L'existence d'un précurseur commun aux adipocytes bruns et aux fibres est suggérée notamment par : 1) un développement important de TA brun en remplacement des muscles chez des souris n'exprimant pas la myogénine, 2) la caractérisation d'un précurseur embryonnaire commun chez la souris, 3) la différenciation en fibres d'un précurseur d'adipocytes bruns en réponse à l'inhibition de la protéine PRDM16 (Bonnet et al, 2010). La formation d'un complexe entre cette protéine et le régulateur adipogénique C/EBPbeta régulerait le basculement de lignages cellulaires en faveur de la différenciation des TA bruns au détriment de la différenciation des cellules musculaires (Christian et Parker, 2010). La détermination vers le lignage adipeux plutôt que vers le lignage musculaire d'un précurseur commun pourrait ainsi expliquer les variations inverses du NTF et du nombre d'adipocytes chez le fœtus ovin pourvu de TA bruns fœtaux, mais pas chez les porcelets dépourvus de TA brun. Ainsi, l'équilibre entre NTF et nombre d'adipocytes blancs impliquerait plutôt la détermination de deux précurseurs cellulaires distincts pour les lignages adipeux et musculaires. En effet, chez la souris, 2 types de précurseurs pour les adipocytes ont été décrits : un précurseur des adipocytes bruns et des fibres musculaires (Seale et al, 2008) et un précurseur à l'origine des adipocytes bruns et blancs (Tseng et al, 2008). L'existence de ces deux précurseurs distincts contribuerait à expliquer qu'il n'y ait pas toujours une relation inverse entre NTF et nombre d'adipocytes. En effet, chez des bovins à fort potentiel de développement musculaire, le NTF et la proportion de fibres secondaires sont augmentés (Picard et al, 2002), et le nombre total d'adipocytes dans le TA périrénal est plus élevé, au moins en période fœtale (Charolais *vs* Holstein à 260 jpc, Taga et al, 2010).

Ces premières données nous conduisent à émettre l'hypothèse qu'au moins un précurseur commun ou deux précurseurs distincts des lignages adipeux et musculaires coexistent dans des proportions qui dépendraient de la localisation anatomique des TA, de l'espèce (en liaison avec la présence ou pas de TA brun), et/ou de l'environnement fœtal. La nature des régulations de la détermination de ces précurseurs reste cependant largement inconnue. Elle impliquerait des facteurs de croissance et/ou des hormones, médiateurs d'interactions entre le muscle et le TA. A ce jour, le seul exemple connu est celui de la myostatine, facteur de croissance sécrété par le muscle, qui oriente la détermination d'un précurseur commun vers le lignage adipogénique au détriment du lignage musculaire (Artaza et al, 2005).

- **Croissance post-natale : des interactions pour le contrôle du partage des nutriments.**

La croissance post-natale des TA et des muscles résulte essentiellement de l'hypertrophie des adipocytes et des fibres, du fait d'une augmentation respectivement du stockage des lipides et des protéines dans ces cellules. Des variations de la taille et du type de fibres musculaires ainsi que de la taille des adipocytes selon l'âge, le niveau énergétique et protéique de la ration, le génotype et le sexe des animaux suggèrent une compétition entre adipocytes et fibres pour l'utilisation des nutriments énergétiques tant au niveau du corps entier qu'au sein du muscle. Au niveau du corps entier, un exemple frappant d'interaction négative entre TA et muscle vient des variations respectives de la taille des fibres et des adipocytes chez des bovins de génotypes extrêmes. En effet, à âge identique, la taille des adipocytes des principaux TA de la carcasse est plus élevée et la surface des fibres est plus faible chez les races bovines ayant un développement musculaire faible comparativement aux races ayant un fort potentiel de développement musculaire (Picard et al, 2002 ; Gotoh et al, 2009 ; Bonnet et al, 2010). Ceci met en évidence une croissance précoce des TA, au détriment de la croissance musculaire chez les génotypes peu musclés, et cette dynamique de croissance affecte de la même façon tous les TA y compris les lipides intramusculaires (LIM).
De nombreux travaux suggèrent une absence de relation stricte entre la teneur totale en LIM et la composition du muscle en fibres musculaires (Lefaucheur, 2010), même si les fibres à métabolisme oxydatif, et en particulier les fibres lentes, sont plus riches en lipides intra-myocellulaires que les fibres rapides glycolytiques (Essén-Gustavsson et al, 1994). Cela a notamment été montré chez le porc en comparant différents types de muscles (Beecher et al, 1965 ; Leseigneur-Meynier et Gandemer, 1991), au sein d'un même muscle intra et inter-génotypes (Essén-Gustavsson et Fjelkner-Modig, 1985; Larzul et al, 1997; Lebret et al, 1999) et dans des essais d'alimentation montrant un effet marqué sur le taux de LIM sans que la composition en fibres musculaires ne soit modifiée (Candek-Potokar et al, 1999). Des données récentes obtenues chez des porcs de race Basque montrent que la teneur totale en LIM est trois fois plus élevée dans la partie superficielle blanche glycolytique (15,8%) que dans la partie profonde rouge oxydative (5,8%) du muscle semitendineux (Figure 2). L'absence de relation systématique entre la teneur totale en LIM et la composition du muscle en fibres musculaires est également constatée chez le bovin (Underwood et al, 2007). En particulier, les muscles de bovins de l'AOC « Taureaux de Camargue » sont caractérisés par un métabolisme très oxydatif avec de faibles teneurs en LIM (Picard et al, 2009). L'ensemble de ces données suggère ainsi que la teneur en LIM du muscle, qui dépend fortement de la taille et du nombre d'adipocytes intramusculaires, résulterait plutôt d'une dynamique de développement des différents dépôts adipeux au sein de l'animal, et donc de l'équilibre masse adipeuse/masse musculaire, plutôt que de la composition du muscle en fibres musculaires.

Figure 2 : Coupe transversale du muscle semitendineux chez un porc de race Basque à 100 kg PV. La partie plus blanche (claire) est plus infiltrée de lipides (blancs) que la partie rouge (foncée).

L'orientation des nutriments vers la fixation de protéines, lipides ou glycogène dans les fibres musculaires ou vers le dépôt de lipides dans les adipocytes est sous le contrôle de nombreuses hormones et facteurs de croissance (Pethick et Dunshea ; 1996 ; Sillence, 2004) qui rendent compte des besoins en nutriments de chaque tissu/cellule et de la disponibilité en ces nutriments et donc du statut nutritionnel de l'animal. Par exemple, le rapport insuline/hormone de croissance (ou GH, Growth Hormone) est plus élevé chez les bovins ayant une forte capacité lipogénique, comme les individus de sexe femelle ou mâle castré *versus* les mâles entiers, ou les races Noir Japonais *versus* Holstein (Bonnet et al, 2010). La sécrétion journalière de GH est corrélée positivement avec la proportion de tissu maigre dans les carcasses et négativement avec la proportion de TA chez les ovins, bovins et porcins (Paris et al, 2006). Les nombreux travaux basés sur l'administration de promoteurs de croissance comme la GH, les hormones sexuelles ou les agonistes des récepteurs β-adrénergiques illustrent aussi le rôle important de ces facteurs sur le rapport masse maigre/masse grasse

(Sillence, 2004). Chez le porc, une administration quotidienne de GH pendant au moins une semaine est capable de réduire fortement l'adiposité des carcasses (de 7 à 44%) et d'augmenter la proportion de muscle (de 2 à 23%) (Louveau et Bonneau, 2001). D'une manière générale, la GH favorise l'anabolisme protéique et réduit l'anabolisme lipidique.
Outre ces hormones, le muscle et les TA synthétisent et sécrètent de nombreuses protéines : les myokines comme la myostatine (Artaza et al, 2005; Hirai et al, 2007) et adipokines comme la leptine (Poulos et al, 2010) capables d'agir par voie endocrine, paracrine ou autocrine et de contribuer au dialogue entre adipocytes et fibres musculaires. Bien que leurs mécanismes d'action restent mal connus, elles pourraient réguler le partage des nutriments entre les TA et les muscles comme le suggèrent les effets des adipokines sur la sensibilité à l'insuline du muscle squelettique chez l'Homme (Dyck, 2009). Chez le bovin, la leptine est l'adipokine à ce jour la plus étudiée (Chilliard et al, 2005), probablement en raison de son rôle essentiel dans le contrôle de l'homéostasie des réserves lipidiques par son action sur la prise alimentaire et la dépense énergétique, notamment l'oxydation des acides gras. Chez les bovins, une forte adiposité est concomitante avec une augmentation de la teneur plasmatique en leptine accompagnée, au niveau du muscle, d'une augmentation de l'oxydation des acides gras et d'une diminution de la lipogenèse (Bonnet et al, 2007; 2010). Ainsi chez le bovin, la leptine favoriserait l'utilisation des nutriments dans le muscle plutôt que leur stockage dans le TA. Une autre adipokine, l'adiponectine aurait des effets similaires d'augmentation de l'oxydation des acides gras dans la cellule musculaire, stimulant ainsi la sensibilité à l'insuline. Chez le porc, les niveaux d'adiponectine sont plus élevés chez les génotypes maigres comparativement aux géntoypes gras (Jacobi et al, 2004). La myostatine, augmenterait la croissance adipeuse directement (*i.e.*, par un contrôle de gènes clés impliqués dans l'adipogenèse) et indirectement (*i.e.*, par un effet inhibiteur sur la croissance du tissu musculaire), ce qui réoriente l'énergie disponible vers les fibres et réduit ainsi l'accumulation lipidique (Hocquette et al, 2010).
Pour étudier les interactions de type autocrine, paracrine ou endocrine entre le muscle et le TA ou entre les différents types cellulaires du muscle, la co-culture *in vitro* de cellules est un outil intéressant. Chez le porc, il est ainsi possible de co-cultiver des myotubes avec des pré-adipocytes issus du muscle (Hausman et Poulos, 2005). Chez l'homme, des co-cultures de cellules montrent que les facteurs libérés par les adipocytes induisent une résistance à l'insuline des cellules musculaires (Dietze et al, 2002). Chez le bovin, la co-culture des types cellulaires participant à l'élaboration des TA et des muscles (adipocytes, myoblastes) suggère que des signaux paracrines (via des adipokines ou myokines) et des interactions cellulaires participent aux dialogues entre ces cellules et ainsi joueraient un rôle dans le rapport masse grasse/masse maigre de la viande et des carcasses (Bonnet et al, 2008).

Conclusions et Perspectives

Le rapport masse maigre/masse grasse dépend du nombre et de la taille des fibres musculaires relativement au nombre et à la taille des adipocytes. La variabilité de la masse musculaire dépend de la variabilité du nombre de fibres et donc de la régulation de l'ontogenèse pendant la période fœtale, et exclusivement de la variabilité de la taille des fibres au delà. La variabilité de la masse adipeuse dépend du nombre d'adipocytes qui augmente durant les phases précoces de la croissance des TA et dès qu'un diamètre « critique » d'adipocytes est atteint (par exemple 90 µm chez le bovin), ainsi que de la taille des adipocytes. Pour répondre à la demande mondiale croissante de viande, il faut donc identifier des stratégies d'élevage qui augmentent le rapport masse maigre/masse grasse, tout en préservant la quantité de lipides intramusculaires et donc en maîtrisant le nombre d'adipocytes intramusculaires nécessaires à la production d'une viande jugée plus goûteuse, juteuse et tendre (les lipides contribuant à 10-15% de la variabilité de l'appréciation globale de la viande bovine par les consommateurs (Hocquette et al, 2010)). De telles stratégies reposent sur la modulation de l'orientation des nutriments vers un stockage dans les fibres et les adipocytes intramusculaires plutôt que dans les adipocytes des TA non musculaires et nécessitent d'approfondir les connaissances sur les régulations du partage des nutriments entre les TA et les muscles par les hormones, adipokines et myokines, ainsi que sur les spécificités de ces tissus pour l'utilisation des nutriments énergétiques. En outre, et parce que les adipocytes musculaires sont moins actifs pour la lipogenèse que ceux de la carcasse (Bonnet et al, 2007 ; Gondret et al, 2008), les rations d'engraissement augmentent souvent le dépôt de lipides simultanément mais de manière plus prononcée dans le corps entier ou la carcasse que dans les muscles. Ce constat associé à la caractérisation de précurseurs adipeux dans le muscle humain adulte (Crisan et al, 2008) nous conduit à formuler l'hypothèse qu'une manipulation du nombre d'adipocytes serait plus efficace qu'une manipulation de leur taille pour contrôler le dépôt de lipides dans les muscles comparativement au corps entier. Cette stratégie de régulation de l'équilibre cellules musculaires/cellules adipeuses dans le muscle squelettique commence à être mise en œuvre *in vitro*. Il est en effet possible *in vitro* de convertir des cellules musculaires en cellules adipeuses dans différentes espèces (Holst et al, 2003; Grimaldi et al, 1997) incluant le porc (Singh et al, 2007; Wilschut et al, 2008) et le bovin (Torii et al, 1998; Kook et al, 2006). Cependant, le manque de connaissance sur les précurseurs adipeux, quelle que soit l'espèce, est une limite forte à la manipulation du nombre d'adipocytes. Afin de poursuivre dans cette voie, notamment *in vivo*, il convient de répondre aux questions suivantes : les précurseurs adipeux sont-ils identiques dans le muscle et dans les TA selon leur localisation anatomique ? Les précurseurs adipeux sont-ils identiques chez des espèces pourvues de TA brun comparativement aux espèces qui en sont dépourvues ? Leur nombre et leur type évoluent-ils avec l'âge des animaux ? Une combinaison de stratégies permettant de moduler le partage des nutriments et le nombre de cellules adipeuses et musculaires est probablement la clé d'une maîtrise de la qualité de la viande et des carcasses. Ainsi, la maîtrise de ces qualités souhaitée par les filières de production animale devra intégrer à la fois l'effet des facteurs d'élevage sur les mécanismes contrôlant le nombre et la taille des adipocytes selon leur localisation anatomique et le nombre et la taille des fibres musculaires, et les conséquences sur la composition des animaux, des carcasses et des viandes.

Références bibliographiques

Argiles J. M., Lopez-Soriano J., Almendro V., Busquets S., Lopez-Soriano F. J., 2005. Med Res Rev, 25, 49-65.
Artaza J. N., Bhasin S., Magee T. R., Reisz-Porszasz S., Shen R., Groome N. P., Fareez M. M., Gonzalez-Cadavid N. F., 2005. Endocrinology, 146, 3547-3557.
Barbatelli, G., I. Murano, L. Madsen, Q. Hao, M. Jimenez, K. Kristiansen, J. P. Giacobino, R. De Matteis, and S. Cinti., 2010. Am J Physiol Endocrinol Metab, 298, E1244-1253.
Beecher G. R., Cassens R. G., Hoekstra W. G., Briskey E. J, 1965. J Food Sci, 30, 969-976.
Beermann D. H., Cassens R. G., Hausman G. J., 1978. J Anim Sci, 46,125-132.
Berg F., Gustafson U., Andersson L., 2006. PLoS Genet, 2, e129.
Biressi, S., Molinaro, M., Cossu, G., 2007. Dev. Biology, 308, 281-293.
Bispham J., Gardner D. S., Gnanalingham M. G., Stephenson T., Symonds M. E., Budge H., 2005. Endocrinology, 146, 3943-3949.
Bonnet M., Cassar-Malek I., Chilliard Y., Picard B., 2010. Animal, 4, 1093-1109.
Bonnet M., Cassar-Malek I., Delavaud A., Tourret M., Chilliard Y., Picard B., 2008. Viandes et Produits Carnés Hors série. "12emes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Tours, 8 et 9 octobre 2008". p 163-164.
Bonnet M., Faulconnier Y., Leroux C., Jurie C., Cassar-Malek I., Bauchart D., Boulesteix P., Pethick D., Hocquette J. F., Chilliard Y., 2007. J Anim Sci, 85, 2882-2894.
Boone C., Mourot J., Gregoire F., Remacle C., 2000. Reprod Nutr Dev, 40, 325-358.
Bosnakovski D., Mizuno M., Kim G., Takagi S., Okumura M., Fujinaga T., 2005. Cell Tissue Res, 319, 243-253.
Brameld J. M., Daniel Z. C. T. R., 2008. Aust J Exp Agric 48, 921-929.
Brandstetter, A. M., Picard, B., Geay, Y., 1998. Livest Prod Sci, 53, 15-23.
Candek-Potokar M., Lefaucheur L., Zlender B., Bonneau M., 1999. Meat Sci, 52, 195-203.
Chaze, T., Meunier, B., Chambon, C., Jurie, C., Picard, B., 2008. Proteomics, 8, 4236-4248.
Chaze, T., Meunier, B., Chambon, C., Jurie, C., Picard, B., 2009. Animal, 3, 980-1000.
Chilliard Y., Ferlay A., Faulconnier Y., Bonnet M., Rouel J., Bocquier F., 2000. Proc. Nutr. Soc. 59, 127-134.
Chilliard Y., Delavaud C., Bonnet M., 2005. Dom Anim Endocr, 29, 3-22.
Christian M., Parker MG. 2010. J Mol Cell Biol, 2, 23-25.
Cooper C. C., Cassens R. G., Kastenschmidt L. L., Briskey E. J., 1970. Dev Biol, 23, 169-184.
Crisan M., Casteilla L., Lehr L., Carmona M., Paoloni-Giacobino A., Yap S., Sun B., Leger B., Logar A., Penicaud L., Schrauwen P., Cameron-Smith D., Russell A. P., Peault B., Giacobino J. P., 2008. Stem Cells, 26, 2425-2433.
Daniel Z. C., Brameld J. M., Craigon J., Scollan N. D., Buttery P. J., 2007. J Anim Sci, 85, 1565-1576.
Dietze D., Koenen M., Röhrig K., Horikoshi H., Hauner H., Eckel J., 2002. Diabetes, 51, 2369-2376.
Ding S. T., McNeel R. L., Mersmann H. J., 1999. Comp Biochem Physiol B Biochem Mo. Biol, 123, 307-318.
Dwyer C. M., Stickland N. C., Fletcher J. M., 1994, J. Anim Sci 72, 911-917.
Dyck D. J., 2009. Appl Pysiol Nutr Metab, 34, 396-402.
Dyck D. J., Heigenhauser G. J., Bruce C. R., 2006. Acta Physiol (Oxf), 186, 5-16.
Eckardt K., Sell H., Eckel J., 2008. Arch Physiol Biochem, 114, 287-298.
Essén-Gustavsson B., Fjelkner-Modig S., 1985. Meat Sci, 13, 33-47.
Essén-Gustavsson B., Karlsson A., Lundstrom, K., Enfält A. C.,1994. Meat Sci, 38, 269-277.
Ford S. P., Hess B. W., Schwope M. M., Nijland M. J., Gilbert J. S., Vonnahme K. A., Means W. J., Han H., Nathanielsz P. W., 2007. J Anim Sci, 85, 1285-1294.
Gagnière, H., Picard, B., Jurie, C., Geay, Y., 1999. Reprod Nutr Dev, 39, 105-112.
Garbutt G. J., Anthony W. B., Walker D. F., Mcguire J. A., 1979. J Anim Sci, 48, 525-530
Gardan D., Gondret F., Louveau I., 2006. Am J Physiol Endocrinol Metab, 291, E372-E380.
Gondret F., Guitton N., Guillerm-Regost C., Louveau I., 2008. J Anim Sci, 86, 2115-2225.
Gondret F., Lefaucheur L., Juin H., Louveau I., Lebret B., 2006. J Anim Sci, 84, 93-103.
Gondret F., Lefaucheur L., Louveau I., Lebret B., Pichodo X., Le Cozler Y. 2005. Livest Prod Sci, 193, 137-146.
Gondret F., Mourot J., Bonneau M., 1998. Lives. Pro. Sci, 54, 1-10.
Gondret F., Tacher S., Bérard J., Bee G., 2009. In 3èmes J A S Phase (Tours, 7-10 oct 2009). P 157.
Gotoh T., Albrecht E., Teuscher F., Kawabata K., Sakashita K., Iwamoto H., Wegner J., 2009. Meat Sci, 82, 300-308
Gregoire F. M., Smas C. M., Sul H. S., 1998. Physiol Rev, 78, 783-809.
Grimaldi P.A., Teboul L., Inadera H., Gaillard D., Amri E.Z., 1997. Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids, 57, 71-75.
Hauser N., Mourot J., De Clercq L., Genart C., Remacle C., 1997. Reprod Nutr Dev, 37, 617-625.
Hausman G. J., Poulos S. P., 2005. J Anim Sci 83, 1010-1016.
Hausman G. J., Thomas G. B., 1986. J Morphol, 190, 271-283.
Hirai S., Matsumoto H., Hino N., Kawachi H., Matsui T., Yano H., 2007. Dom Anim Endocr, 32, 1-14.
Hocquette J. F., Gondret F., Baeza E., Medale F., Jurie C., Pethick D. W., 2010. Animal, 4, 303-319.
Holst D., Luquet S., Kristiansen K., Grimaldi P. A., 2003. Exp Cell Res, 288, 168-176.
Jacobi S. K., Gabler N. K., Ajuwon K. M., Davis J. E., Spurlock M. E., 2006. J Anim Sci 84 Suppl, E140-149.
Karunaratne J. P., Bayol S. A., Ashton C. J., Simbi B. H., Stickland N. C., 2009. Differentiation, 77, 290-297.
Kim J. M., Lee Y. J., Choi Y. M., Kim B. C., Yoo B. H., Hong K. C., 2008. J Anim Sci, 21, 1529-1534.
Kook S. H., Choi K. C., Son Y. O., Lee K. Y., Hwang I. H., Lee H. J., Chang J. S., Choi I. H., Lee J. C., 2006. Mol. Cells 22, 239-245.
Larzul C., Lefaucheur L., Ecolan P., Gogué J., Talmant A., Sellier P. et al., 1997. J Anim Sci, 75, 3126-3137.

Lebret B., Le Roy P., Monin G., Lefaucheur L., Caritez J. C., Talmant A., et al., 1999. J Anim Sci, 77, 1482-1489.
Lefaucheur L., 2010. Meat Sci, 84, 257-270.
Lefaucheur L., Ecolan P., 2007. Arch Tierz,50, 15-16.
Lefaucheur L., Edom F., Ecolan P., Butler-Browne G. S., 1995. Dev Dyn, 203, 27-41.
Lefaucheur L., Vigneron P., 1986. Meat Sci, 16, 199-216.
Lehnert, S. A., Reverter, A., Byrne, K. A., Wang, Y., Nattrass, G. S., Hudson, N. J., Greenwood, P. L., 2007. BMC Dev Bio, 7, 95-107.
Leseigneur-Meynier A., Gandemer G., 1991. Meat Sci, 29, 229-241.
Louveau I., Bonneau M., 2001. Dans : Renaville, R., Burny, A., Biotechnology and Animal husbandry, Kluwer Academic Press, The Netherlands, p111-131.
Markham, T. C. W., Latorre, R. M., Lawlor, P. G., Ashton, C. J., McNamara, L. B., Natter, R., Rowlerson, A., Stickland, N. C., 2009. Animal, 3, 1001-1012.
Mascarello F., Stecchini M. L., Rowlerson A., Ballocchi E., 1992. J Anim Sci, 70, 1806-1813.
Monziols M., Collewet G., Mariette F., Kouba M., Davenel A., 2005. Magn Reson Imaging 23, 745-755.
Mourot J., 2001. INRA Prod Anim, 14, 355-363.
Owens F. N., Gill D. R., Secrist D. S., Coleman S. W., 1995. J Anim Sci, 73, 3152-3172.
Palsson H., 1955. In Progress in the physiology of farm animals (ed. J Hammond), pp. 430–542. Butterworths, London, UK
Paris A. et al., 2006. INRA Prod Anim, 19, 151-234.
Pethick D. W., Dunshea F. R., 1996. Proc Nut Soc Aust, 20, 1-13.
Picard, B., Berri, C., Lefaucheur, L., Molette, C., Sayd, T., Terlouw, C., 2010. Briefings in Functional Genomics and Proteomics, in press.
Picard, B., Lefaucheur, L., Berri, C., Duclos, J.-M., 2002. Reprod Nutr Dev, 42, 415-431.
Picard, B., Saint-Lhoutellier, V., Fiot, I., Gatellier, P., Durand, D., Micol, D., 2009. VPC, 27 (24) 111-116, 137.
Plaghi L., 1985. J Physiol Paris, 80, 51-110.
Poulos S. P., Hausman D. B., Hausman G. J., 2010. Mol Cell Endocrinol, 323, 20-34.
Ramsay T. G., Stoll M. J., Caperna T. J., 2010. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol, 155, 97-105.
Rehfeldt C., Fiedler I., Dietl G., Ender K., 2000. Livest Prod Sci, 66, 177-188.
Rehfeldt C., Kuhn G., 2006. J Anim Sci, 84 (Suppl. 1), E113-E123.
Rehfeldt C., Tuchscherer A., Hartung M., Kuhn G., 2008. Meat Sci, 78, 170-175.
Robelin J., 1981. Lipid Res, 22, 452-457.
Robelin J., 1986. Livest Prod Sci, 14, 349-364.
Robelin J., Casteilla L., 1990. INRA Prod Anim, 3, 243-252.
Robelin, J., Lacourt, A., Bechet, D., Ferrara, M., Briand, Y., Geay, Y., 1991. Growth Development and Aging, 55, 151-160.
Russell, R. G., Oteruelo, F. T., 1981. Anat Embryology, 162, 403-417.
Schoonmaker J. P., Fluharty F. L., Loerch S. C., 2004. J Anim Sci, 82, 137-148.
Seale P., Bjork B., Yang W., Kajimura S., Chin S., Kuang S., Scime A., Devarakonda S., Conroe H. M., Erdjument-Bromage H., Tempst P., Rudnicki M. A., Beier D. R., Spiegelman B. M., 2008. Nature, 454, 961-967
Sillence M. N., 2004. Vet J, 167, 242-257.
Singh N. K., Chae H. S., Hwang L. H., Yoo Y. M., Lee S. H., Lee H. J., Park H. J., Chung H. Y., 2007. J Anim Sci, 85, 1126-1135.
Smith S. B, Crouse J. D., 1984. J Nutr, 114, 792-800.
Smith S. B., Carstens G. E., Randel R. D., Mersmann H. J., Lunt D. K., 2004. J Anim Sci, 82, 942-954.
Spalding K. L., Arner E., Westermark P. O., Bernard S., Buchholz B. A., Bergmann O., Blomqvist L., Hoffstedt J., Naslund E., Britton T., Concha H., Hassan M., Ryden M., Frisen J., Arner P., 2008. Nature (London) 453, 783-787.
Sudre, K., Leroux, C., Pietu, G., Cassar-Malek, I., Petit, E., Listrat, A., Auffray, C., Picard, B., Martin, P., Hocquette, J. F., 2003. J Biochem, 133, 745 - 756.723.
Suzuki A., Cassens R. G., 1980. J Anim Sci, 51, 1449-1461.
Taga H., Bonnet M., Picard B., Zingaretti M. C. , Cassar-Malek I., Cinti S., Chilliard Y., J Anim Sci, soumis.
Tseng Y. H., Kokkotou E., Schulz T. J., Huang T. L., Winnay J. N., Taniguchi C. M., Tran T. T., Suzuki R., Espinoza D. O., Yamamoto Y., Ahrens M. J., Dudley A. T., Norris A. W., Kulkarni R. N., Kahn C. R., 2008. Nature 454, 1000-1004
Torii S., Ohyama M., Matsui T., Yano H., 1998. Anim Sci Technol, 69, 439-444.
Trayhurn P., Temple N. J., Van Aerde J., 1989. Can J Physiol Pharmacol, 67, 1480-1485.
Underwood K. R., Tong J., Zhu M. J., Shen Q. W., Means W. J. , Ford S. P., Paisley S. I., Hess B. W., Du M., 2007. J Agr Food Chem, 55, 9698-9703.
Vernon R. G. 1986. In Control and Manipulation of Animal Growth. (eds. PJ Buttery, NB Haynes and DB Lindsay), pp. 67-83, London, UK.
Vodovar N., Desnoyer F., Etienne M., 1977. Ann Bioch Anim Biol Biophys, 17, 775-786.
Wigmore P. M., Stickland N .C., 1983. J Anat, 137, 235-245.
Williams P. J., Marten N., Wilson V., Litten-Brown J. C., Corson A. M., Clarke L., Symonds M. E., Mostyn A., 2009. Reproduction, 138, 609-617.
Wilschut K. J., Jaksani S., Van Den D. J., Haagsman H. P., Roelen B. A., 2008. J Cell Biochem, 105, 1228-1239.

A LA CROISEE DE LA GENOMIQUE POSITIONNELLE ET FONCTIONNELLE : APPLICATION A L'IDENTIFICATION D'UNE MUTATION CHEZ LE POULET ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES EN QUALITE DE LA VIANDE

LE BIHAN-DUVAL E.[1], BERRI C.[1], PITEL F.[2], NADAF J.[1], SIBUT V.[1,3], LAGARRIGUE S.[4,5], DUCLOS M.J.[1]

[1] INRA, UR83, Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France ; [2] INRA, ENVT, UMR444 Génétique Cellulaire, F-31326 Castanet-Tolosan, France ; [3] Institut Technique de l'Aviculture, F-37380 Nouzilly, France ; [4] INRA, UMR 598 Génétique Animale, F-35000 Rennes, France, [5] Agrocampus Ouest, UMR 598 Génétique Animale, F-35000 Rennes, France

Introduction

Les progrès technologiques et de la connaissance des génomes ouvrent de nombreuses perspectives d'amélioration des caractères d'intérêt, dont la qualité des produits, grâce à l'utilisation des nouveaux outils de la génomique. Ainsi, 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 liaison rassemblant des marqueurs génétiques utilisés comme « balises » sur le génome. Ces marqueurs polymorphes, microsatellites et plus récemment SNP (pour Single Nucleotide Polymorphism), sont aujourd'hui largement utilisés pour rechercher les régions génomiques ou QTLs (pour Quantitative Trait Loci) contenant un ou plusieurs gènes mutés entraînant une modification significative des phénotypes d'intérêt. Chez ces mêmes espèces d'élevage, des outils d'analyse à grande échelle du niveau d'expression des gènes voire des protéines exprimées ont aussi été développés et sont aujourd'hui utilisés pour caractériser le profil transcriptomique ou protéomique dans les tissus d'animaux se différenciant sur un ou plusieurs paramètres d'intérêt.

Les applications potentielles de ces données moléculaires, qu'elles soient positionnelles, expressionnelles ou fonctionnelles, sont évidemment très larges. Elles concernent en particulier la sélection des animaux par les approches de type Sélection Assistée par Marqueurs (SAM) et son extension à tout le génome, la Sélection Génomique, aujourd'hui appliquée dans certains schémas comme les bovins laitiers. Elles peuvent aussi concerner la prédiction de phénotypes d'intérêt grâce au profil d'expression de gènes ou de protéines. L'amélioration de la qualité des produits chez les animaux élevés pour la production de viande demeure une préoccupation importante des filières. Néanmoins les critères de qualité restent difficiles à évaluer et la qualité difficile à améliorer par des approches classiques telle que la sélection quantitative, qui implique le plus souvent une évaluation sur collatéraux. L'utilisation de la génomique représente donc une alternative particulièrement prometteuse pour améliorer les composantes de la qualité.

Au delà des études d'association ou de prédiction des phénotypes à partir des données moléculaires, la connaissance des gènes et des mécanismes physiologiques sous-jacents aux phénotypes demeure un objectif prioritaire. L'identification des gènes, et idéalement des mutations causales, permet en effet de retenir préférentiellement les animaux avec les allèles favorables et d'adapter le mode d'élevage en fonction du génotype. La connaissance des voies métaboliques impliquées peut par ailleurs conduire à l'identification de nouveaux « biomarqueurs » (gènes ou protéines) utiles pour tester et quantifier l'effet des facteurs d'élevage.

Depuis plusieurs années, une démarche intégrative alliant génomique positionnelle, expressionnelle et fonctionnelle a été développée chez le poulet pour identifier les gènes et mécanismes physiologiques associés à la qualité technologique de la viande. Celle-ci est évaluée grâce à différents indicateurs de la couleur, du pouvoir de rétention en eau ou de la texture de la viande. Après les premières étapes de détection de QTL et d'analyse du transcriptome (Le Bihan-Duval *et al.*, 2008a), de nouvelles approches de type « eQTL » sont aujourd'hui développées. Si l'on réserve le terme de QTL aux régions responsables de la variabilité d'un caractère quantitatif (par exemple un indicateur de qualité de viande), la notion de eQTL (pour expression QTL) se rapporte à la détection de régions contrôlant la variabilité d'expression d'un gène. Après avoir décrit notre modèle d'étude, nous montrerons comment cette approche encore originale chez les espèces d'élevage a été menée avec succès pour caractériser un QTL de coloration de la viande chez le poulet. Plus largement, les perspectives de recherches en « Génétique-Génomique » pour l'amélioration de la qualité chez le poulet seront évoquées.

Apport des lignées divergentes pour l'étude du déterminisme génétique de la qualité de la viande en relation avec la croissance

Depuis la mise en place de programmes de sélection rationalisés en aviculture, des progrès très importants ont été réalisés sur les performances de croissance des animaux. Ainsi, le poids à 6 semaines a été multiplié par 3 en 50 ans (passant de 1 à 3 kg) et les rendements en filet par 1,7 en 30 ans (Berri et Jehl, 2001). Ceci a conduit à une diminution

drastique de l'âge d'abattage des animaux, de l'ordre de 1 jour par an (Beaumont *et al.*, 2004). Ceci n'a pas été sans poser des questions sur les conséquences de cette sélection sur les autres caractères, notamment le métabolisme général et musculaire et les liens avec la qualité de la viande. L'étude de deux lignées divergentes sélectionnées pendant plus de 20 générations sur la vitesse de croissance (Ricard, 1975), et de leur croisement de seconde génération, a été engagée pour acquérir des premiers éléments de réponse.

Comme le montre le Tableau 1, dans ce modèle expérimental les différences de vitesse de croissance sont associées à des différences de composition corporelle mais aussi de qualité de la viande. A l'âge de 9 semaines, les animaux les plus lourds présentent en effet une vitesse de chute du pH plus importante (révélée par un pH à 15 min post-mortem plus faible), un pH ultime (à 24h post-mortem) plus bas et une coloration moindre dans le rouge et dans le jaune au niveau 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 et 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 pour les études sur la croissance, ces lignées divergentes se sont donc révélées particulièrement intéressantes pour les études sur la qualité.

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

Caractères	légers (n=56)	lourds (n=53)	Effet lignée (p)
Croissance corporelle			
Poids vif à l'abattage (g)	683 ± 67	1922 ± 157	<,001
% gras abdominal	0,2 ± 0,2	2,5 ± 0,7	<,0001
% filet	10,4 ± 0,8	11,4 ± 0,8	<,0001
% cuisse	22,0 ± 0,7	23,2 ± 0,9	<,0001
Indicateurs de qualité			
Luminosité (L*)	45,6 ± 1,8	48,3 ± 3,2	<,0001
Indice de rouge (a*)	1,6 ± 0,7	-0,2 ± 0,8	<,0001
Indice de jaune (b*)	13,3 ± 1,4	9,4 ± 1,2	<,0001
pH à 15 min post-mortem	6,33 ± 0,16	6,20 ± 0,22	0,0004
pH ultime	6,14 ± 0,14	5,74 ± 0,09	<,0001
Pertes par exsudation (%)	2,1 ± 1,5	2,3 ± 1,2	NS

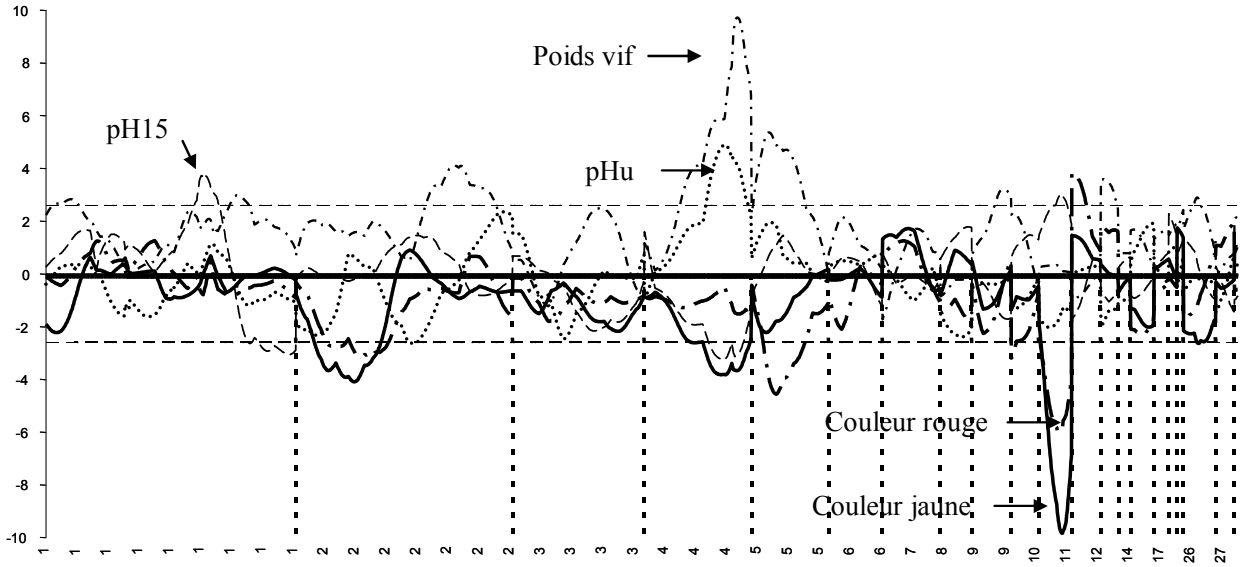
NS = non significatif

Un croisement constitué de près de 700 descendants de type F2 a été généré pour rechercher les régions chromosomiques contrôlant l'ensemble des caractères d'intérêt. De nombreux QTL ont été identifiés pour les caractères de croissance et composition corporelle en relation avec le métabolisme (Nadaf *et al.*, 2009a) et, pour la première fois, pour certains indicateurs de qualité de la viande (Nadaf *et al.*, 2007).

La Figure 1, illustrant quelques uns des résultats obtenus, montre un effet d'entraînement dans la lignée à croissance rapide des allèles positifs pour le poids vif confirmant l'efficacité d'une telle sélection. De façon intéressante, elle montre aussi des réponses associées sur d'autres caractères comme la mesure de coloration jaune (b*) de la viande du filet pour laquelle plusieurs régions QTL ont été détectées (sur les chromosomes 2, 4 et 11 en particulier). Ces résultats ont aussi permis d'illustrer les possibles effets pléiotropes (sur plusieurs caractères) d'un même locus. Tel est le cas du QTL détecté sur le chromosome 4, pour lequel l'allèle augmentant le poids vif a aussi un effet positif sur le pH ultime mais négatif sur l'engraissement, le pH à 15 minutes et la mesure de la couleur jaune (b*). Du fait de son importance pour la croissance, on peut penser que ce QTL a très vraisemblablement été fixé par la sélection intensive appliquée dans les souches commerciales à croissance rapide. Nos résultats indiquent que ce QTL pourrait contribuer à la relation génétique positive entre poids vif (ou poids de muscle) et pH ultime de la viande estimée dans ce type de souche (Le Bihan-Duval *et al.*, 2008b).

Derrière des différences globales entre lignées se cachent donc des déterminismes spécifiques à chaque locus que les analyses QTL permettent de révéler puis d'exploiter pour des applications en sélection, notamment en « cassant » des relations défavorables entre certains caractères. La caractérisation des régions QTL permet quant à elle d'aller jusqu'à l'identification des gènes et des voies métaboliques impliquées. Nous verrons, pour un des QTL identifiés dans ce dispositif, comment l'intégration de données expressionnelles et fonctionnelles peut y contribuer.

Figure 1 : Test t des effets QTL (en ordonnée) en fonction de la localisation génomique (en abscisse) pour le poids vif (à 9 semaines) et la qualité de la viande (pH à 15 min et pH ultime, coloration rouge et jaune de la viande) au sein du croisement F2 entre lignées divergentes à croissance lente ou rapide. Pour chaque caractère, une valeur de t positive (supérieure au seuil de signification en pointillé) indique un effet significatif et positif de l'allèle au QTL transmis par la souche à croissance rapide. Inversement, une valeur de t négative indique un effet négatif de l'allèle au QTL transmis par la souche à croissance rapide sur le caractère étudié.



Caractérisation d'un QTL de coloration de la viande par une approche eQTL

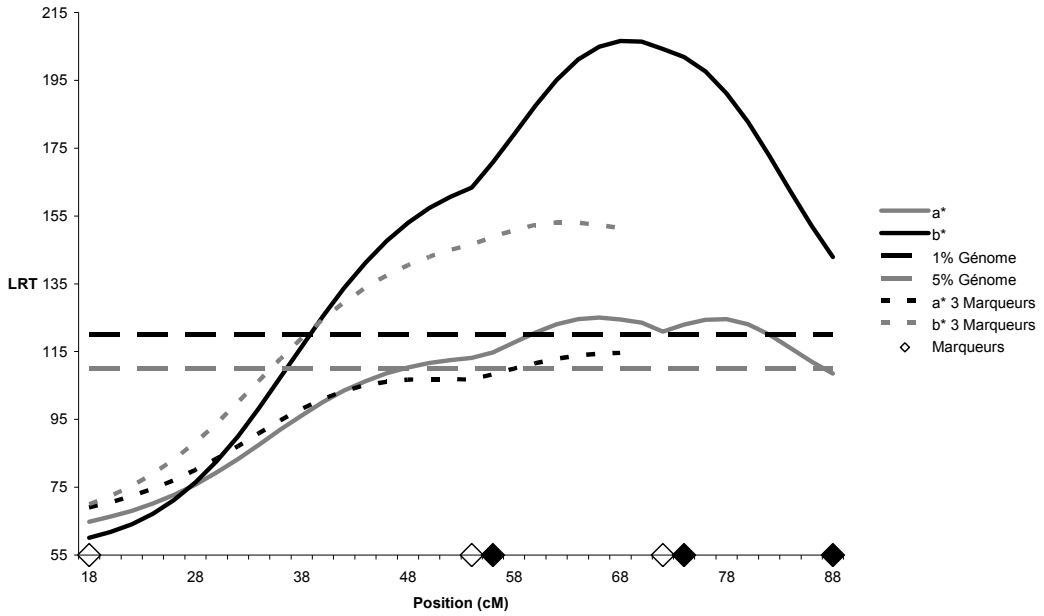
Comme nous l'avons évoqué et illustré, les progrès de la génétique moléculaire et des méthodes statistiques d'exploitation de cette information ont permis l'identification de nombreux QTL. Ainsi, les dernières informations mises à jour sur la base Animal QTLdb (http://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/index) font état chez le poulet de 2284 QTL identifiés relatifs à 229 caractères différents. Par contre, le passage du QTL au gène, et idéalement à la mutation à l'origine de la variabilité génétique, n'a été réalisé que dans un nombre très restreint de cas au moins chez les espèces d'élevage (voir Ron et Weller, 2007 et Georges, 2007 pour une revue). En effet, les intervalles de confiance souvent larges des régions QTL, comprenant parfois des centaines de gènes, rendent caduque l'identification de gènes candidats. De plus, la cartographie fine des QTL reste un processus long et coûteux, du fait de la nécessité de produire des animaux informatifs en nombre suffisant.

Au cours de la dernière décennie, plusieurs équipes (travaillant sur l'homme ou des espèces modèles) se sont donc attachées à évaluer l'intérêt d'une nouvelle démarche dite de « Génétique Intégrative » ou « Génétique Génomique » visant à combiner les données positionnelles (de détection de QTL) et expressionnelles (d'analyse du transcriptome à l'aide de puces à ADN) pour caractériser l'architecture génétique des caractères complexes. Les données de puces sont alors considérées comme des variables quantitatives et utilisées pour la détection de QTL d'expression ou eQTL. On parle de cis-eQTL lorsque le gène codant pour le transcrit est situé dans l'intervalle de confiance du eQTL. Dans ce cas, une mutation dans le gène lui-même peut être responsable de la variation de son niveau d'expression (évalué par la quantité de transcrits). A l'inverse, on parle de trans-eQTL lorsque la localisation correspond à une région distante du gène codant pour le transcrit. Chez les espèces d'élevage, quelques études pilotes ont été initiées. Tel est le cas d'une récente étude chez le poulet montrant l'intérêt de la démarche pour affiner la position d'un QTL d'engraissement et caractériser les gènes associés à la variabilité génétique à ce locus (Le Mignon et *al.*, 2009). En complément de ces approches généralistes, encore coûteuses, des approches plus ciblées sur l'analyse de l'expression de gènes candidats, mesurée par RT-PCR, peuvent aussi être envisagées. L'exemple suivant décrit un premier cas, du moins chez les espèces d'élevage, d'identification d'une mutation de type cis par une approche de type eQTL.

Cette étude avait pour objectif de caractériser un QTL de coloration de la viande identifié dans le croisement F2 entre lignées divergentes à croissance lente ou rapide. Cette dernière région, localisée sur le chromosome 11 (Figure 1), a retenu notre attention car, bien que très imprécise, elle présentait un niveau de signification très élevé. Après l'étape de primo-détection, trois nouveaux marqueurs microsatellites informatifs localisés sur la partie distale du chromosome ont

été génotypés. Comme l'illustre la Figure 2, l'ajout de ces nouveaux marqueurs a augmenté le degré de signification du QTL tout en réduisant son intervalle de confiance (de 32 à 14 cM pour la mesure b* du jaune). Les analyses statistiques à l'aide du logiciel QTLMAP ont confirmé que les 5 pères du dispositif étaient hétérozygotes au QTL et que l'allèle augmentant la coloration jaune était transmis par la souche à croissance lente. L'ensemble de ces résultats indiquait donc un rôle majeur de cette région dans la différence de couleur de la viande observée entre les deux lignées (Tableau 1).

Figure 2 : Profil de vraisemblance du QTL de coloration jaune (indice b*) et rouge (indice a*) de la viande sur le chromosome 11, avant (courbes en pointillés) et après (courbes pleines) le raffinement de la région à l'aide de nouveaux marqueurs. Les losanges blancs indiquent la position des marqueurs microsatellites utilisés pour la primo-détection et les losanges noirs celle des 3 marqueurs supplémentaires génotypés pour le raffinement de la région.



L'étape suivante a consisté en une analyse bioinformatique de la région. Celle-ci a permis d'identifier un excellent gène candidat positionnel (localisé au pic de vraisemblance du QTL) mais aussi fonctionnel. Il s'agit du gène *BCMO1* codant pour la β-β carotène 15,15' monooxygénase, enzyme impliquée dans la voie majeure de conversion du β-carotène (un pigment de couleur orange) en vitamine A. Pour valider le rôle fonctionnel de ce gène dans les variations de coloration de la viande, une quantification par PRC en temps réel de son niveau d'expression dans le muscle a été réalisée. L'analyse de corrélation réalisée sur plus de 130 descendants (tous issus d'un même père) a montré une relation négative (r=-0.46) entre niveau d'expression de *BCMO1* et mesure de coloration du filet. Ces résultats indiquent, qu'au sein de cette famille, une augmentation de l'activité du gène est associée à une diminution de la coloration jaune du filet.

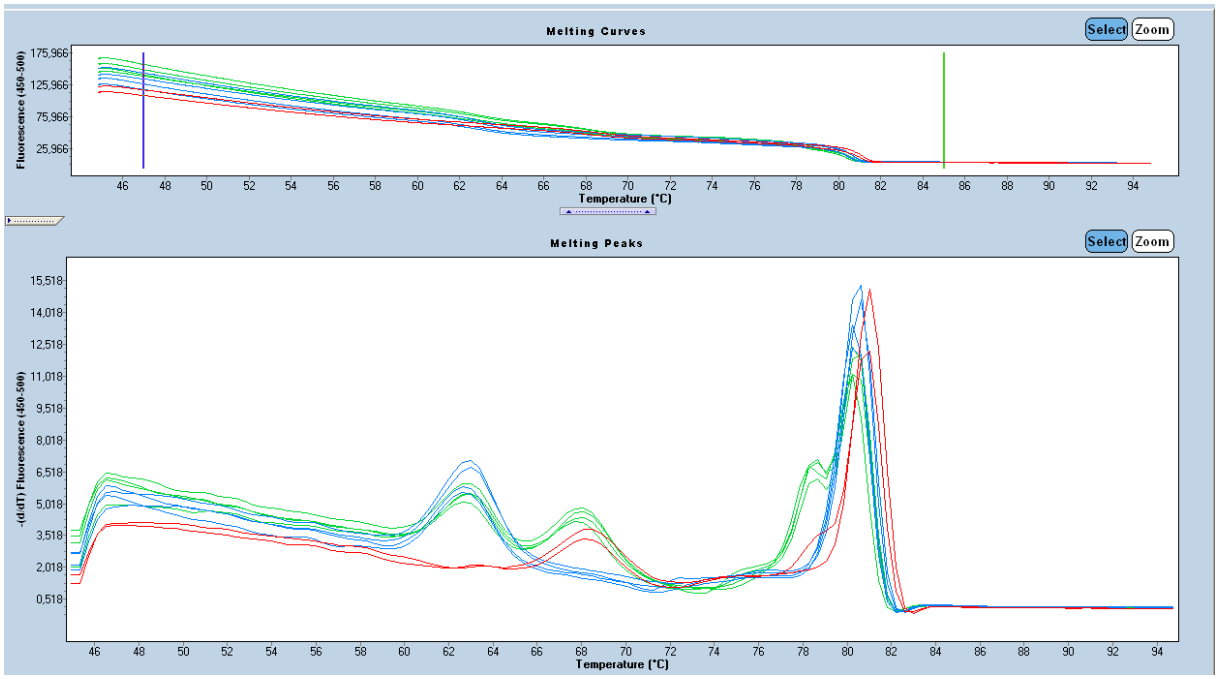
Les mesures d'expression ont alors été analysées comme une variable quantitative pour la détection de eQTL. Ces données ont permis d'identifier un cis-eQTL, co-localisant avec le QTL de coloration jaune, mais présentant un niveau de signification nettement plus élevé. Lorsque le niveau d'expression du gène est introduit comme covariable dans le modèle de détection du QTL de coloration (on considère la variabilité de couleur indépendante de la variabilité du niveau d'expression du gène), ce dernier disparaît. L'ensemble de cette démarche a permis d'aboutir aux conclusions suivantes : l'effet du QTL contrôlant la couleur s'explique par une variation du niveau expression de *BCMO1*, et la mutation à l'origine de la variation de coloration est localisée dans une région régulatrice de *BCMO1* qui module le niveau d'abondance des transcrits.

Ces résultats ont orienté la recherche de la mutation causale vers les régions régulatrices du gène, notamment le promoteur. Leur séquençage chez les 5 pères informatifs et chez quelques animaux F0 et F2 du dispositif a révélé un nombre relativement important de polymorphismes (dont 23 SNP). Parmi les mutations candidates (réduites au nombre de 6), une double mutation identifiée dans la partie promotrice était d'un intérêt tout particulier. L'impact de cette mutation sur l'activité du promoteur a par la suite été démontré grâce à une approche de type gène rapporteur réalisée en culture cellulaire. Cette validation fonctionnelle nous permet donc aujourd'hui de conclure qu'il s'agit de la mutation sous-jacente au QTL de coloration.

Fruit d'une démarche collaborative entre physiologistes, généticiens quantitatifs et moléculaires, ce résultat est un des rares exemples d'identification de mutations causales chez les volailles et, à notre connaissance, le premier expliquant la variabilité d'un caractère quantitatif. Il montre l'intérêt de la démarche eQTL qui, dans ce cas, a validé le gène candidat (*BCMO1*) et orienté la recherche des mutations candidates au sein du promoteur, raccourcissant ainsi l'étape souvent très laborieuse de cartographie fine. Si la différence entre homozygotes pour la double mutation est estimée à un écart-type phénotypique pour la mesure de coloration, elle est de deux écart-types pour la mesure d'expression. Ces données expérimentales illustrent donc l'intérêt des mesures d'expression qui permettent une décomposition plus fine du phénotype d'intérêt et renforcent la puissance de détection des polymorphismes sous-jacents.

L'identification du polymorphisme dans le gène *BCMO1*, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet (EP 2161345), ouvre de nombreuses perspectives à la fois de recherches et d'applications. Ces résultats ont d'ores et déjà conduit à la mise au point d'un test génétique permettant un génotypage rapide de la double mutation par la technique de High Resolution Melting (HRM) (Figure 3). Celui-ci sera mis à profit pour de futures études d'association (entre marqueur et coloration) au sein de différentes populations de poulet, qui permettront d'évaluer les possibilités et les stratégies de sélection à privilégier en fonction des objectifs recherchés. Les résultats obtenus chez le poulet pourraient aussi présenter un intérêt pour d'autres espèces avicoles. Ainsi des études ont été initiées chez le canard pour évaluer l'intérêt de ce marqueur génétique pour l'amélioration de la qualité des produits mesurée dans des contextes physiologiques et d'élevage très différents. Bien sûr, les perspectives de recherche incluent également une forte composante « physiologique » pour comprendre les effets biologiques de ce gène majeur pour le métabolisme de la vitamine A. Les travaux engagés en collaboration visent en particulier à évaluer les interactions avec l'alimentation (apport en β-carotène ou en vitamine A) afin de préciser les effets sur la coloration ou d'autres propriétés, notamment nutritionnelles, de la viande.

Figure 3 : Test de génotypage du second SNP par HRM. Les courbes de dissociation permettent de distinguer les individus homozygotes AA (pic de fluorescence à 63°C), les homozygotes GG (pic de fluorescence à 68°C) et les hétérozygotes AG (pics de fluorescence à 63°C et 68°C).

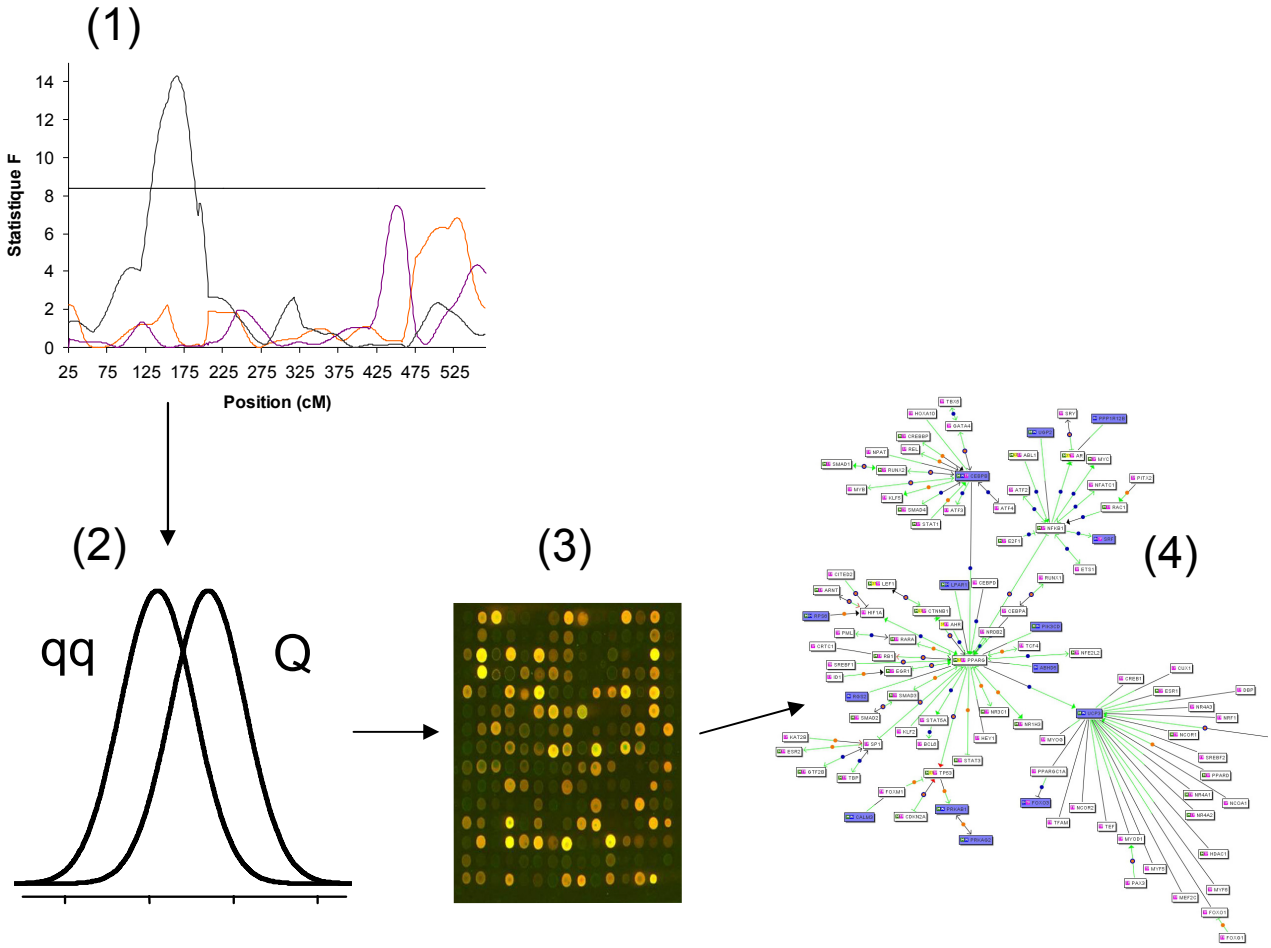


Autres perspectives de recherches en Génétique-Génomique pour l'amélioration de la qualité de la viande

La démarche appliquée pour l'identification du gène *BCMO1* pourra bien sûr être étendue à l'étude d'autres gènes pour la recherche de cis ou trans-eQTL. Les gains en précision et en puissance de détection des QTL et eQTL apportés par la nouvelle génération de marqueurs SNP bénéficieront à ce type d'étude. Des approches complémentaires visant à caractériser les régions QTL les plus importantes par l'analyse du profil transcriptomique d'animaux de génotype extrême (de type qq ou QQ au QTL) peuvent aussi être envisagées. Comme résumé dans la Figure 4, ce type d'étude implique différentes étapes : (1) identification du QTL pour le phénotype d'intérêt, (2) sélection de deux groupes

d'animaux en fonction du génotype associé (de type qq et QQ) et (3) caractérisation des profils transcriptomiques par hybridation des ARNm pour (4) identifier les gènes différentiels et les réseaux de gènes associés. L'intérêt de cette approche est à ce jour testée dans le cadre d'une première étude ciblée sur un QTL du chromosome 1 contrôlant la vitesse initiale de chute du pH (pH15) dans le croisement entre lignées divergentes à croissante lente et rapide (Figure 1 **;** Nadaf et *al.*, 2009b). Les résultats à venir devraient aboutir à une meilleure connaissance des gènes et voies métaboliques contribuant aux différences de pH initial associées à ce QTL. En cela ils pourront faciliter l'identification du gène causal et à terme des polymorphismes sous-jacents. Cette première approche permettra aussi d'évaluer l'intérêt de la démarche et de l'optimiser (notamment pour le nombre d'animaux testés) en fonction des effets estimés du QTL. D'autres informations comme la caractérisation du profil protéomique des animaux en fonction du génotype pourraient aussi être intégrés à ce type de démarche augmentant encore le niveau d'intégration des données positionnelles et fonctionnelles.

Figure 4 : Différentes étapes mises en œuvre lors de l'approche de Génétique-Génomique ciblée sur la caractérisation d'un QTL de qualité : (1) cartographie du QTL, (2) identification de deux groupes d'animaux de génotypes différents au QTL, (3) caractérisation du profil transcriptomique pour l'analyse différentielle et, (4) étude des réseaux de gènes.



Références bibliographiques

Beaumont C., Le Bihan-Duval E., Juin H., Magdelaine P., 2004. *INRA Productions Animales*, 17(4) : 264-273.
Berri C., Jehl N., 2001. 4èmes Journées Recherche Avicole, Nantes, 27-29 Mars 2001, 245-252.
Georges M., 2007. Annu Rev Genomics Hum Genet, 8:131-162.
Le Bihan-Duval E., Berri C., Pitel F., Nadaf J., Sibut V., Gigaud V., Duclos M.J., 2008a. *INRA Productions Animales*, 21: 159-166.
Le Bihan-Duval E., Debut M., Berri C.M., Sellier N., Santé-Lhoutellier V., Jégo Y., Beaumont C., 2008b. *BMC Genetics*, 9: 53.
Le Mignon G., Désert C., Pitel F., Leroux S., Demeure O., Guernec G., Abasht B., Douaire M., Le Roy P., Lagarrigue S., 2009. *BMC Genomics*, 10 :575.

Nadaf J., Gilbert H., Pitel F., Berri C.M., Feve K., Beaumont C., Duclos M.J., Vignal A., Porter T.E., Simon J., Aggrey S.E., Cogburn L.A., Le Bihan-Duval E., 2007. *BMC Genomics*, 8:155.
Nadaf J., Pitel F., Gilbert H., Duclos M.J.,Vignoles F., Beaumont C., Vignal A., Porter T.E., Cogburn L.A.,,Aggrey S.E., Simon J., Le Bihan-Duval E., 2009a. *Physiol. Genomics,* 38: 241-249.
Nadaf J., Le Bihan-Duval E., Dunn I.C., Berri C.M., Beaumont C., Haley C.S., De Koning D.J.,2009b. EAAP – 60th Annual Meeting, Barcelona, p138.
Ricard, F.H., 1975. *Annales de Génétique et de Sélection Animale,* 7: 427-443.Ron M., Weller, J.I., 2007. *Anim Genet*, 38(5): 429-439.

BASES BIOLOGIQUES DE LA QUALITE & GENETIQUE - GENOMIQUE

Conférences invitées

Communications

ENQUETE NATIONALE SUR LA TENDRETE DE LA VIANDE BOVINE PROPOSEE AU CONSOMMATEUR FRANÇAIS

NORMAND J.[1], RUBAT E.[1,2], EVRAT-GEORGEL C.[3], TURIN F.[4], DENOYELLE C.[3]

[1] Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 07
[2] ISARA-Lyon, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 07
[3] Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, 149 rue de Bercy, 75595 Paris cedex 12
[4] Institut de l'Elevage, Service Qualité des Viandes, route d'Epinay, 14310 Villers-Bocage

Introduction

La tendreté est un facteur important de la qualité de la viande bovine, toutes les enquêtes consommateurs le démontrent (Dransfield et Zamora, 1997 ; Grunert *et al.*, 2004). Or, en regard d'un prix élevé, la qualité de la viande de bœuf est souvent jugée décevante et irrégulière, notamment vis à vis de la tendreté. Cela pourrait être une des raisons de la baisse tendancielle de la consommation de viande bovine observée en France au cours de ces dernières années. Dans ce contexte, Interbev, l'interprofession française du bétail et des viandes, a demandé à l'Institut de l'Elevage de conduire une enquête nationale visant à donner à la filière une vision concrète de la perception de la tendreté de la viande bovine par les consommateurs, à l'instar des « enquêtes nationales tendreté » régulièrement conduites aux Etats-Unis, en Australie ou en Nouvelle-Zélande (Bickerstaffe *et al.*, 2001 ; Morgan *et al.*, 1991 ; Safari *et al.*, 2002 ; Voges *et al.*, 2007). Cette étude s'est donc attachée à mesurer le niveau réel de tendreté de différentes viandes bovines achetées dans une grande variété de points de vente via des analyses sensorielles « consommateurs ».

Matériels et méthodes

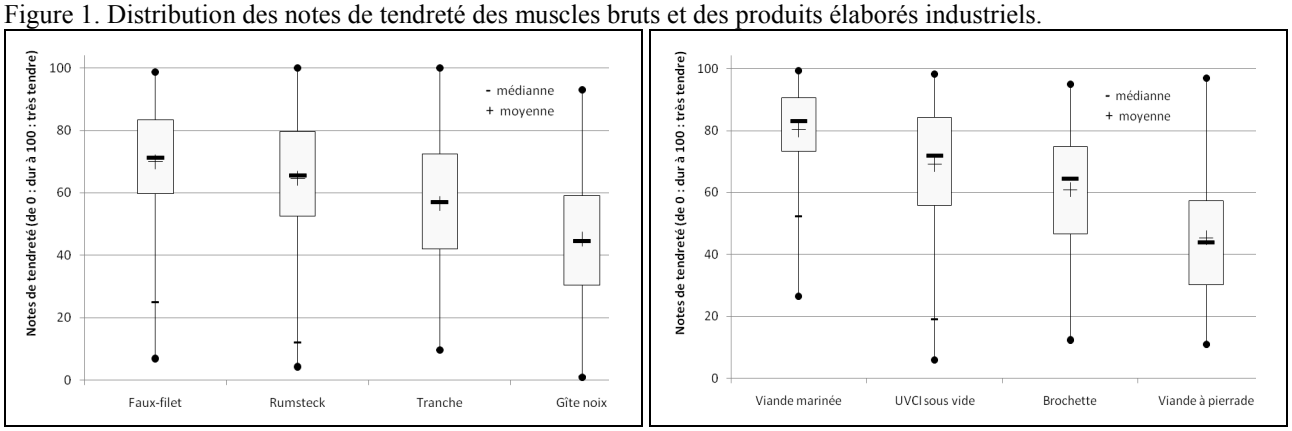
Echantillonnage. De juillet 2008 à juin 2009, 2594 échantillons de viande bovine ont été collectés dans 6 villes françaises (Paris, Lille, Lyon, Marseille, Toulouse, Rennes) à raison de 2 périodes de collecte par ville (printemps/été et automne/hiver). Afin d'être représentatives des achats réalisés par les consommateurs, les viandes dégustées ont été achetées dans les 4 principaux circuits de commercialisation fréquentés par les Français : hypermarché, supermarché, hard-discount et boucherie artisanale, en tenant compte de leur part respective dans les achats de viande (44, 28, 6 et 21 % respectivement, (GEB, 2007)). Deux types de produits ont été étudiés : 1) quatre muscles bruts tranchés, 2 connus pour être plutôt tendres (le faux-filet et le rumsteck) et 2 plus hétérogènes pouvant poser des problèmes de tendreté (le gîte à la noix et la tranche) ; 2) quatre produits élaborés industriels : les viandes conditionnées en UVCI sous vide, les viandes marinées, les viandes pour pierre à griller et les brochettes. Pour les muscles bruts, au final, 480 steaks par type de muscle ont été dégustés (40 steaks portant un numéro de lot différent par ville et par période). Pour les produits élaborés, du fait de leur taux de présence en magasin plus faible et du caractère saisonnier de certains d'entre eux, 240 unités de viande marinée, 240 UVCI sous vide, 124 brochettes et 70 unités de viande pour pierre à griller ont été dégustées (un maximum de 40 unités de vente portant un numéro de lot différent par ville sur une seule période).
Analyses sensorielles « consommateurs ». Dans chaque ville, un jury de 240 consommateurs réguliers de viande bovine, appréciant la cuisson saignante, a dégusté les viandes collectées dans cette même ville. Au final, le panel (n=1440) était un peu plus féminin (56 % de femmes) que la population française (52 % – INSEE, 2009), incluait moins de personnes âgées (8 % des consommateurs de plus de 65 ans contre 20 % dans la population française (INSEE, 2009)) et était surdiplômé. Les viandes ont été cuites sur un grill électrique professionnel double face (Sofraca, Infragrill rainuré 10012) jusqu'à atteindre une température interne de 58°C (cuisson saignante). Les produits étaient cuits et dégustés sans assaisonnement ni matières grasses (hormis les brochettes cuites avec les poivrons et la barde). Après cuisson, chaque steak était découpé en 3 morceaux afin de disposer de 3 jugements de consommateurs différents pour chaque produit. Les produits ont été dégustés suivant un test monadique séquentiel. Chaque consommateur a dégusté 6 produits (faux-filet, rumsteck, tranche, gîte noix, plus en hiver une viande marinée et une viande pour pierre à griller, ou en été, une viande en UVCI sous vide et une brochette) selon un ordre planifié et équilibré. La satisfaction générale, la tendreté et la flaveur des échantillons ont été caractérisés à la fois sur une échelle continue structurée et sur une échelle discontinue en 8 classes. Il était également demandé aux panélistes s'ils avaient envie de consommer à nouveau le produit dégusté.

Résultats et discussion

Avec 75 % des notes de tendreté supérieures à 60 et une note moyenne de 70, le faux-filet est apparu comme le plus tendre des 4 muscles bruts dégustés (figure 1). Inversement, le gîte à la noix a été le muscle brut dont la tendreté a été la moins appréciée, avec 75 % des notes inférieures à 59 et une note moyenne de 45. La tendreté du rumsteck et de la tranche était intermédiaire, avec des notes moyennes de respectivement 65 et 57 et 50 % de notes comprises entre 53-80 et 42-72 (1er et 3ème quartile). Un classement identique des muscles a été observé à partir de l'appréciation de la tendreté sur l'échelle en huit classes. La tendreté du faux-filet, du rumsteck, de la tranche et du gîte à la noix a été jugée « bonne », « très bonne » ou « excellente » par respectivement 72, 62, 49 et 32 % des consommateurs. Le classement

tendreté de ces muscles bruts est celui qui était a priori attendu et confirme les résultats des enquêtes américaines (Morgan *et al.*, 1991 ; Voges *et al.*, 2007).
Avec 75 % des notes de tendreté supérieures à 75 et une note moyenne de 80, les viandes marinées sont apparues comme les produits élaborés les plus tendres (figure 1). Avec une note moyenne de 69, les viandes conditionnées en UVCI sous vide ont également obtenu des notes de tendreté élevées. Les notes de tendreté des brochettes collectées ont été un peu en deçà, mais toutefois 50 % excédaient 65, avec une note moyenne de 60. Enfin, la tendreté des viandes pour pierre à griller a été décevante avec 75 % des notes inférieures à 57 et une note moyenne de 43. Le classement des produits a été identique sur l'échelle en 8 classes : respectivement, 87, 69, 55 et 32 % des consommateurs ont jugé la tendreté de la viande marinée, de la viande en UVCI sous vide, des brochettes et de la viande pour pierre à griller, « bonne », « très bonne » ou « excellente ».
Des résultats très voisins, conservant le même classement, ont été observés pour l'appréciation de la flaveur et de la satisfaction générale. En cohérence avec les notes de tendreté, de flaveur et d'appréciation générale, 85 % des panélistes se sont dits prêts à consommer à nouveau de la viande marinée. Cela en fait le produit le plus apprécié de l'étude. Les viandes conditionnées en UVCI sous vide, le faux-filet et le rumsteck ont également été appréciés par les consommateurs puisque près des deux-tiers d'entre eux ont indiqué leur intention de consommer à nouveau ces produits (respectivement 72, 69 et 63 % d'intention positive). La satisfaction vis à vis des brochettes et de la tranche a été plus variable puisqu'un consommateur sur deux seulement a eu l'intention de consommer à nouveau ces produits. Enfin, le gîte à la noix et les viandes pour pierre à griller sont apparus comme les produits les plus décevants puisque seul un tiers du panel a eu l'intention de les consommer à nouveau.

Figure 1. Distribution des notes de tendreté des muscles bruts et des produits élaborés industriels.



Conclusions

Les résultats de ces dégustations ont montré que les consommateurs étaient relativement satisfaits de la tendreté de la viande bovine qui leur était proposée. Cependant, il existe des degrés de satisfaction différents selon le type de produit dégusté. La viande marinée, le faux-filet, la viande conditionnée en UVCI sous vide et le rumsteck ont ainsi été bien perçus par les consommateurs alors que les avis ont été plus mitigés concernant la tranche et les brochettes voire négatifs pour les viandes pour pierre à griller et le gîte à la noix. Pour les 4 premiers produits, ces résultats pourront être mis en avant pour la promotion de la viande bovine. En revanche, il semblerait important pour la filière de travailler à l'amélioration de la tendreté des 4 derniers produits, sous peine de ternir l'image globale de la viande bovine. Diverses pistes pourraient être explorées : allongement de la durée de maturation, attendrissage mécanique et/ou marinade, choix des muscles utilisés dans les produits élaborés…

Références bibliographiques

Bickerstaffe R., Bekhit A.E.D., Robertson L.J., Roberts N., Geesink G.H., 2001. Meat Science, 59, 303-315.
Dransfield E., Zamora F., 1997. Viandes et Produits Carnés, 18, 184-188.
Groupe Economie du Bétail (GEB) – Institut de l'Elevage (2007). Le dossier économie de l'élevage n° 369.
Grunert K.G., Bredahl L., Brunsø K., 2004. Meat Science, 66, 259-272.
INSEE (2009). Bilan démographique 2008.
Morgan J.B., Savell J.W., Hale D.S., Miller R.K., Griffin D.B., Cross H.R., Shackelford S.D., 1991. Journal of Animal Science, 69, 3274-3283.
Safari E., Channon H.A., Hopkins D.L., Hall D.G., Van de Ven R., 2002. Meat Science, 61, 267-273.
Voges K.L., Mason C.L., Brooks J.C., Delmore R.J., Griffin D.B., Hale D.S., Henning W.R., Johnson D.D, Lorenzen C.L., Maddock R.J., Miller R.K., Morgan J.B., Baird B.E., Gwartney B.L., Savell J.W., 2007. Meat Sci., 77, 357-364.

Remerciements

Cette étude a été conduite avec le soutien financier d'Interbev et de FranceAgriMer.

CONSTRUCTION D'UNE GRILLE DE NOTATION DU « GRAIN DE VIANDE » SUR ANIMAL VIVANT CHEZ LES BOVINS CHAROLAIS

OURY M. P. [1], QUILLARD F. [1], DURAND Y. [2], MICOL D. [3], DUMONT R. [1]

[1] AgroSup Dijon, 26 Boulevard Docteur Petitjean, BP 87 999, 21 079 Dijon Cedex
[2] Chambre d'Agriculture, 59 Rue du 19 mars 1962, BP 522, 71 010 Mâcon Cedex
[3] INRA, Unité de Recherche sur les Herbivores, Equipe C2M, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

En zone Charolaise, les professionnels utilisent la notion de « grain de viande » pour juger de l'aptitude des animaux à produire de la viande de qualité, la finesse du grain étant supposée être positivement reliée à la qualité sensorielle de la viande.

L'analyse en profondeur des discours des professionnels autour de cette expression a permis d'en cerner la trajectoire sémantique et d'identifier un certain nombre de repères spécifiques pour la viande en vue d'évaluer le grain de viande sur la carcasse entière et à la coupe (Delavigne, 2007). Elle a également permis d'identifier les critères susceptibles de contribuer à la définition du grain de viande sur l'animal vivant.

Une première étude a porté sur ces repères spécifiques identifiables sur la carcasse entière et à la coupe. Seize critères de notation, 8 sur la carcasse entière et 8 après la coupe, ont ainsi été formalisés et pondérés dans une grille de notation utilisable en abattoir (Oury et al., 2008). Pour poursuivre, la formalisation de cette évaluation empirique doit être établie sur l'animal vivant. L'objet de cette recherche est ainsi d'expliciter certains des repères relatifs à la viande identifiables sur l'animal vivant, et d'élaborer une grille de notation utilisable sur le terrain.

Matériels et méthodes

Un entretien avec un négociant en viandes et trois bouchers ayant l'habitude d'acheter les animaux avant abattage, et utilisant pour cela la notion de grain de viande, a permis d'identifier les critères clefs de notation. Pour chaque critère retenu, le procédé de notation ainsi que les modalités extrêmes et la modalité la plus favorable ont été définis et illustrés. Une première ébauche de grille, complétée par une planche de photos, a été proposée puis validée par les experts questionnés.

Cette grille provisoire a ensuite été mise à l'épreuve. Pour cela, 60 femelles Charolaises ont été notées la veille de leur abattage de façon indépendante par les experts, chacun étant séparés des autres pour ne pas être influencé au cours de sa notation. Les femelles, issues du cheptel de la ferme de Jalogny, provenaient de diverses origines et présentaient ainsi des âges, des poids et des développements musculaires permettant de couvrir une grande hétérogénéité au sein de la population étudiée.

La grille a été ensuite testée sur une population constituée de 38 vaches âgées de 32 à 128 mois (74 ± 25 mois) et 18 génisses âgées de 29 à 51 mois (39 ± 5 mois). La conformation (EUROPA) des carcasses de ces femelles a été notée en majorité U (23%) et R (71%), quelques carcasses ayant des conformations plus extrêmes (E : 4% ; O : 2%). Le lendemain de l'abattage, le grain de viande (GDV) a été noté sur la carcasse selon la grille établie par Oury et al. (2008).

L'analyse statistique des résultats a eu pour objectif d'évaluer 1) l'importance de chacun des critères retenus dans la grille par rapport à la note de grain de viande jugée sur la carcasse et à la coupe, et 2) la répétabilité et la reproductibilité de cette grille sur l'animal vivant. Pour cela, la concordance a été évaluée entre les différents critères de notation mais également entre les jurés par le coefficient de concordance de Kendall (CCK ; Statistica, 2000).

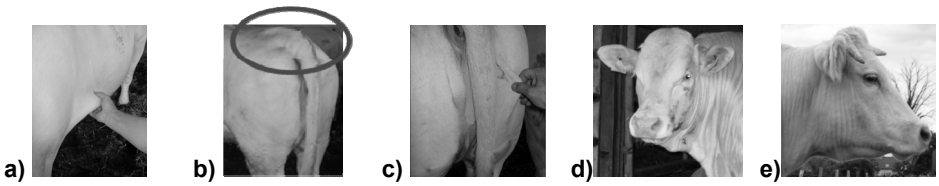
Résultats et discussion

La grille a été construite autour de 16 critères évalués dans les jours précédant l'abattage et dont l'évaluation critères fait appel aux différents sens, notamment à la vue et au toucher (Fig. 1). Ces 16 critères ont été regroupés en deux grands domaines. Le premier, « caractéristiques de l'animal et développement musculaire », comporte 9 critères notés entre 1 et 5. Le second, « caractères raciaux et aptitudes fonctionnelles » comporte 7 critères également notés entre 1 et 5. Pour chacun des 16 critères, la note de 5 a été attribuée à la modalité du critère supposée, selon les professionnels, la plus favorable au grain de viande évalué sur la carcasse (Tableau 1).

Pour l'ensemble des critères de la grille, les CCK sont supérieurs à 0,57 ($P<0,0001$), indiquant que le classement des animaux entre jurés pour les différents critères est cohérent et que la notation réalisée est reproductible.

Parmi les 16 critères évalués sur l'animal vivant, 11 sont très concordants avec l'appréciation globale du grain de viande sur la carcasse ($0,71<CCK<0,79$; $P<0,001$). Le niveau de concordance entre le grain de viande et les critères sur l'animal vivant demeure cependant inférieur à celui existant entre le grain de viande et les postes d'évaluation sur la carcasse ($CCK>0,84$; Oury et al., 2008).

Parmi les critères évalués sur l'animal vivant, certains ne sont pas reliés au grain de viande évalué sur la carcasse ou la coupe, notamment la docilité, l'aspect général de la tête, les caractéristiques de couleur de robe, de taille ainsi que l'orientation des cornes (Fig. 2a). Certains critères ont une évolution conjointe à celle du grain de viande : l'épaisseur du cuir et son élasticité (Fig. 2b), la largeur du dos et la présence d'aloyau (morceau comprenant le filet, le contre-filet et le romsteak), la musculature de l'avant et celle de l'arrière. Enfin, d'autres critères permettent de distinguer uniquement les grains fins (GDV ≥ 4) : l'équilibre avant/arrière, l'épaisseur de flanchet, la finesse de l'os (Fig .2c).



a) évaluation de l'épaisseur du flanchet ;
b) notation de l'attache de la queue – ;ici attache trop haute, grossière ;
c) évaluation de l'épaisseur et de l'élasticité du cuir ;
d, e) évaluation de l'étranglement de la tête : d) animal avec fanon, e) animal sans fanon

Fig 1. Illustration de certains maniements et observations en lien avec l'appréciation du grain de viande sur l'animal vivant

Tableau 1 : Critères retenus pour le jugement du grain de viande sur l'animal vivant

Note attribuée au critère étudié	Note de 1, attribuée à la modalité du critère supposée la moins favorable au GDV	Note de 5 attribuée à la modalité du critère supposée la plus favorable au GDV
Caractéristiques de l'animal et développement musculaire		
Appréciation de la docilité	Animal affolé, craintif	Animal calme, se laissant approcher / caresser
Evaluation de l'état d'engraissement	Animal très maigre ou très gras	Animal couvert
Musculature de l'avant	Pas assez ou trop d'avant	Bonne proportion d'avants
Musculature de l'arrière	Arrière étroit, concave, musculature peu marquée	Arrière très développé, convexe, musculature très marquée
Equilibre avant-arrière	Animal mal équilibré	Animal très bien équilibré
Evaluation de l'aloyau	Dos pointu, très peu d'aloyau	Dos creusé, aloyau large et épais
Epaisseur du flanchet	Flanchet peu épais	Flanchet très épais
Attache de la queue	Attache trop haute, grossière	Attache plate, rectiligne, dans la continuité du dos
Finesse et forme de l'ossature	Ossature très grossière, os très plats	Ossature très fine, bien ronde
Caractères raciaux et aptitudes fonctionnelles		
Finesse et élasticité du cuir	Très grossier (6 mm), rigide, impossible à pincer	Très fin (2 mm), très élastique, facile à pincer
Aspect général et finesse du poil	Poil piqué, frisé, peu agréable au toucher	Poil frais, luisant, lisse, court, fin
Grosseur, taille et couleur des cornes	Cornes grossières, rouges, grisâtres, brunâtres	Petites cornes fines et bien blanches
Port des cornes	Cornes vers les yeux ou en arrière (en bascule)	Cornes droites et relevées, arrondies ou ouvertes vers l'avant
Aspect général de la tête	Tête peu racée	Tête bien racée, bien typée, large
Etranglement de la tête	Animal non cravaté, présence de fanon	Animal très bien cravaté, absence de fanon
Museau et mufle	Museau très long, mufle étroit	Museau bien dimensionnée, mufle large

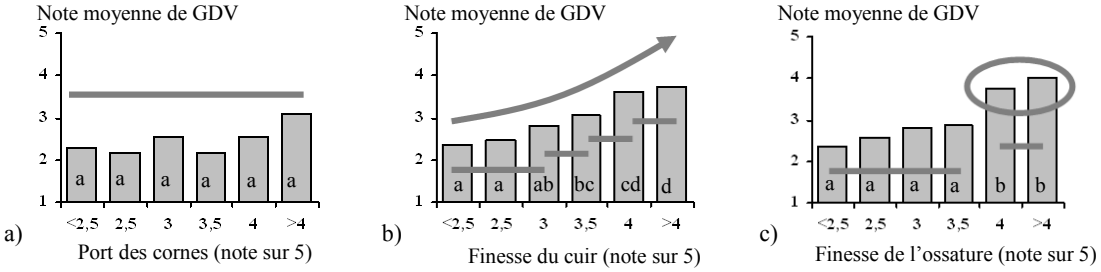


Fig. 2 : Lien entre les notes de certains critères évalués sur l'animal vivant et le grain de viande moyen évalué sur la carcasse (GDV)
Une note de GDV de1/5 correspond à un grain de viande extrêmement grossier/fin.
Deux lettres différentes (a, b, c) témoignent d'une différence significative (p<0,05).

Conclusion

Pour mettre toutes les chances de son côté d'avoir une viande à grain extrêmement fin, il est préférable, lors du choix d'un animal vivant, de sélectionner un animal bien équilibré (avant/arrière), avec beaucoup d'aloyau, une bonne proportion d'avants et un arrière très développé, un cuir très fin, très élastique et facile à pincer, une ossature fine et un flanchet très épais. Il n'en demeure pas moins qu'une seconde sélection, après notation des critères sur la carcasse entière et sur les quartiers après découpe, est plus à même d'augmenter significativement la prédiction d'un grain de viande fin par rapport à la seule notation de l'animal vivant.

Références bibliographiques

Delavigne A.E., 2007. Ethno-zootechnie, 81, 67-77
Oury M. P., Journées des Sciences du Muscle et technologies de la Viande, Tours, 8-9 Octobre 2008, 151-152.
Statistica Kernel version 5.5, StatSoft France, 1984-2000.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de l'ANR dans le cadre du programme « Agriculture et Développement Durable », projet « PRODDIG ». Les auteurs remercient l'ensemble des professionnels de la filière pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche et le temps qu'ils nous ont accordé, et en particulier C. Ducoté, D. Liodenot, J.-L. Nelly et R. Sandrin.

ETAT DES LIEUX DES PROBLEMES DE QUALITE DES FILETS DE POULET ACTUELLEMENT RENCONTRES EN ABATTOIRS FRANÇAIS

GIGAUD V. [1], CASENAVE E. [2], BORDEAU T. [2], BAEZA E. [2], BERRI C. [2]

1, ITAVI, Unité de recherches avicoles , 37380 NOUZILLY
2, INRA, UR 083, Unité de recherches avicoles, 37380 NOUZILLY

Introduction

Comme dans la plupart des pays développés, la production de viande de volailles françaises concerne de plus en plus les produits transformés au détriment des produits entiers. Actuellement, la viande des poulets standards à croissance rapide représente la principale source d'approvisionnement pour les produits de découpe ou transformés. Toutefois les produits Label Rouge et Certifiés se positionnent également sur ces marchés. Il y a une demande croissante d'homogénéisation et d'amélioration de la qualité de la viande de volaille, qui est actuellement mal maîtrisée par les producteurs mais d'une grande importance pour les fabricants de produits transformés et les consommateurs. L'objectif de l'étude a été d'évaluer la qualité technologique des filets de poulet des différentes filières en France, à savoir, les filières Label Rouge, Certifiée, standard, et lourde.

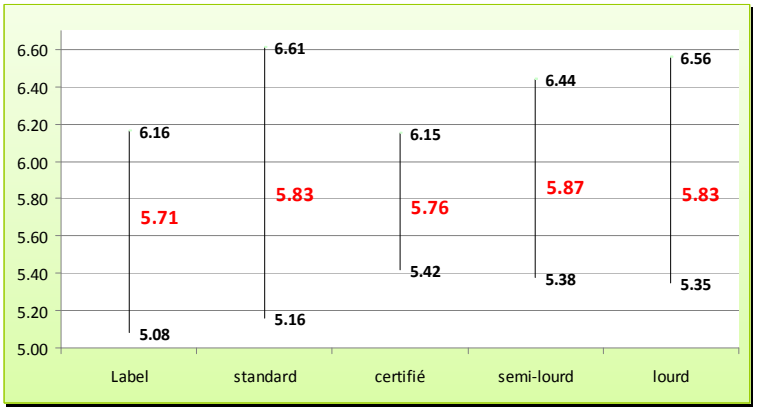
Matériel et Méthodes

Les abattoirs partenaires de l'étude appartenaient à 6 groupes volaillers. Les analyses ont portées sur environ 7200 filets (12 lots standards, 23 lots Label, 19 lots lourds, 4 lots Certifiés). Cent filets par lot ont été prélevés au hasard sur la chaîne de découpe. Après 24 h de ressuage à +2°C, le poids, le pH ultime (pHu) et la couleur (CIE L*, a*, b*) des filets (*Pectoralis major*) ont été mesurés. Les rendements technologiques par saumurage-cuisson ont été mesurés grâce à la mise au point d'une nouvelle méthode (EmTV) plus adaptée aux filets de poulet. Cette méthode consiste à parer les filets à 60 g puis à les lacérer sur la face intérieure. Après l'ajout de 20% de saumure (136g/l de sel nitrité), les filets ainsi saumurés sont malaxés au stomacher (appareil habituellement utilisé pour homogénéiser les échantillons en microbiologie) pendant 30 secondes. Après conservation 24 h à +4°C sur une balancelle pour assurer l'homogénéisation, la viande saumurée est mise sous vide, cuite au bain marie à 85 °C pendant 10 minutes et refroidie sur de la glace pilée (10 min.) et pesés. Les rendements de transformation en blancs de poulet ont été calculés par rapport au poids initial de la viande saumurée.

Résultats

Le premier constat de notre étude est l'hétérogénéité de qualité très élevée rencontrée sur le terrain sur l'ensemble des paramètres mesurés. Elle a pour origine des variations très importantes de pHu (Figure 1) qui vont impacter un nombre important de paramètres tels que la couleur, les rendements technologiques, la perte au tranchage des produits transformés et la texture de la viande (résultats non détaillés, mais décrits par Gigaud et al., 2009).

Figure 1 : Variabilité du pH ultime observée dans les abattoirs français en fonction du type de production (les effectifs sont indiqués dans la figure 2.

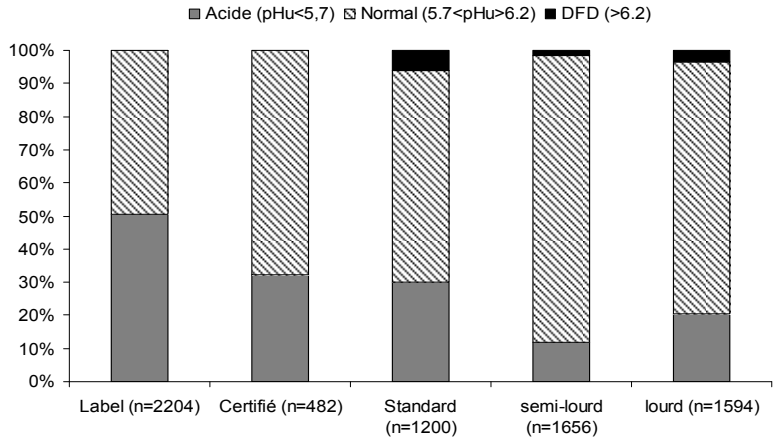


(Les chiffres représentent le minimum, la moyenne et le maximum mesurés pour chaque filière)

Les principaux défauts occasionnés par les variations de pHu sont en premier lieu les viandes acides, dont le pH est inférieur à 5,7 et qui sont caractérisées par une couleur anormalement pâle, un pouvoir de rétention faible en eau et de ce fait sont peu adaptées à la transformation. Elles représentent 10 à 50% des filets produits en France, les proportions les plus élevées étant obtenues dans la filière Label Rouge (Figure 2). A l'opposé, il existe des viandes présentant un pH ultime élevé (>6,2). Elles présentent les caractéristiques des viandes DFD, pour Dark Firm Dry, principalement liées à une couleur sombre et à une bonne capacité de rétention d'eau. De ce fait, elles sont plutôt bien adaptées à la transformation mais se conservent moins bien en frais. Les viandes DFD sont peu fréquentes mais apparaissent

néanmoins dans les productions de poulets standards et lourds. Nos observations de terrain (Figure 2) sont tout à fait cohérentes avec les études menées à l'INRA qui ont montré que l'accroissement des performances de croissance et l'augmentation des rendements en filet chez le poulet ont entraîné un épuisement des réserves énergétiques en glycogène musculaire (Berri et al., 2007), principal déterminant du pH ultime des viandes (Le Bihan-Duval et al., 2008). Les études menées sur les souches à croissance lente ou intermédiaire utilisées pour les production en Label Rouge et Certifiée ont aussi démontré la susceptibilité accrue de ces poulets aux problèmes des viandes acides en raison de réserves élevées en glycogène musculaire (Berri et al., 2005). Sur le plan sensoriel, les viandes acides et DFD posent des problèmes en termes d'aspect, de texture, de jutosité et même d'arrière goût dans le cas des viandes acides (Gigaud et al.,2009).

Figure 2 : Fréquence d'apparition des principaux défauts de viandes (acides et DFD) en fonction du type de production



La mise au point d'une méthode alternative à la mesure de référence NAPOLE, initialement mise au point pour la viande de Porc, a permis d'estimer précisément l'impact des variations de pHu sur les rendements technologiques après saumurage-cuisson des filets de poulets standards et certifiés. Ainsi, sur les 6 lots de poulets certifiés analysés à ce jour, les rendements ont varié entre 74 et 87% et ont présenté une corrélation moyenne avec le pHu de 0,68. Dans le cas des standards, les rendements a été compris entre 72 et 90% et la corrélation avec le pHu a été de 0,62. En moyenne sur 359 mesures, la corrélation entre le pHu et le rendement technologique mesuré avec la nouvelle procédure (EmTV) était de 0,63 contre 0,23 (n= 568) avec la mesure du rendement NAPOLE.

Conclusions

L'ensemble des enquêtes réalisées depuis 2008 indiquent une hétérogénéité extrêmement importante du pH ultime des filets de poulet produits en France. Même si cette hétérogénéité s'exprime pour tous les types de production, elle est particulièrement élevée pour la filière standard. Le problème des viandes acides est préoccupant, en particulier pour la filière Label Rouge, alors que les défauts de viandes DFD concernent plutôt les filières de poulets standards et lourds.
Les résultats obtenus au cours de ces différentes enquêtes seront retransmis individuellement aux abatteurs partenaires ce qui leur permettra de mieux positionner la qualité de leur production par rapport à leurs objectifs de commercialisation (découpe, transformation, etc.). Par ailleurs, les données récoltées viendront enrichir la base de données de qualité de viande de l'UMT BIRD qui constitue un référentiel unique concernant les problèmes de qualité de viande auxquels doivent faire face les différents filières de productions de volailles françaises. L'origine des variations de pH ultime est multifactorielle et donc difficile à maîtriser. Néanmoins, les recherches se poursuivent à l'UMT BIRD pour mieux comprendre l'origine des variations de qualité de viande et proposer des stratégies innovantes de production.

Références bibliographiques

Berri, C., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Arnould, C., Boutten, B., Sellier, N., Baéza, E., Jehl, N., Jego, Y., Duclos, M.J., Le Bihan-Duval, E., 2005. British Poultry Science, 46, 572-579.
Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Baéza, E., Gigaud, V., Jego, Y., Duclos, M.J., 2007. Journal of Animal Science, 85, 2005-2011.
Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Gigaud, V., Baéza, E., Duclos, M.J., 2010. In: Proceedings of the XIIIth European Poultry Conference, Tours (FRA), 2010/08/23-26.
Gigaud, V., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., 2009. In : Proceedings of the 8èmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo (FRA), 2009/03/25-26, 124-131.
Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Berri, C.M., Sellier, N., Sante-Lhoutellier, V., Jego, Y., Beaumont, C., 2008. BMC Genetics, 9, 6 p.
Remerciements : Nous remercions les abatteurs-transformateurs qui ont participé à ce projet mais également les personnes qui ont contribué aux analyses, en particulier X. Rousseau, M. Chaudeau, O. Poirier et P. Chartrin. Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'UMT BIRD INRA-ITAVI et financé par la Région Centre et FranceAgrimer.

AMELIORATION GENETIQUE DES POULETS LOCAUX DU BENIN PAR CROISEMENT AVEC LE LABEL ROUGE (T55 x SA51) : EFFET HETEROSIS

YOUSSAO A.K.I.[1*], SENOU M.[2], DAHOUDA M.[2], KPODEKON T.M.[1], IDRISSOU N-D.[3], TOUGAN U.P.[1], AHOUNOU G.S.[1], ROGNON X.[4], TIXIER-BOICHARD M.[4]

[1] Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, D/PSA, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin.
[2] Faculté des Sciences Agronomiques, D/PA, 01 BP 526 Cotonou, Bénin.
[3] Centre de Gestion Durable des Ressources Animales et Végétales, BP 1096, Parakou, Bénin.
[4] UMR1313, Centre de Recherches INRA, 78352 Jouy-en-Josas Cedex, France.

Introduction

En aviculture familiale, les ressources génétiques locales de l'Afrique de l'Ouest sont principalement représentées par la poule locale domestique (*Gallus gallus domesticus*) dont les performances zootechniques sont faibles par rapport à celles des races exotiques (Loukou *et al.,* 2009, Youssao *et al.,* 2009, Youssao *et al.,* 2010, Osei-Amponsah *et al.,* 2010). Pour pouvoir comparer les performances des poulets locaux de la région en tenant compte de l'effet du milieu et du mode d'élevage, un témoin commun (Label Rouge T55 x SA51) a été élevé simultanément avec les populations locales dans trois pays (Ghana, Côte d'Ivoire, Bénin). Il en ressort que, les performances zootechniques des Label Rouge sont meilleures à celles des poulets locaux (Loukou *et al.,* 2009, Youssao *et al.,* 2009, Osei-Amponsah *et al.,* 2010). Dans le souci d'améliorer la population locale de volaille, des recherches ont été entreprises sur le croisement entre le Label Rouge et les poulets locaux. La présente étude a pour but d'évaluer l'effet hétérosis sur les aptitudes bouchères des individus issus des croisements entre les poulets locaux du Bénin et cette souche de Label Rouge.

Matériel et méthodes

Le présent travail porte sur six types génétiques de poulets : le Label Rouge (T55 x SA51), les poulets locaux de l'écotype Nord, ceux l'écotype Sud Bénin et leurs croisés : mâle du Nord et femelle Label (MnFl) ; mâle Label et femelle du Nord (MlFn) ; mâle du Sud et femelle Label (MsFl). Dix coquelets de chaque type génétique ont été abattus à l'âge de 24 semaines. Les carcasses des animaux abattus ont été conservées au réfrigérateur à une température de 4°C pendant une durée de 24 h. Une découpe de chaque carcasse a permis de déterminer les poids du bréchet, de l'ensemble cuisse-pilon, des ailes et du reste de la carcasse. Les morceaux de découpe nobles (cuisse, pilon, bréchet) des animaux de chaque type génétique ont été préparés à l'eau dans différentes marmites sans assainissement et sans sel pendant un temps proportionnel à leur poids « prêt à cuire », sur la base de 1 heure pour 1 kg. Au total, 24 juges ont évalué les trois caractéristiques importantes de la qualité de la viande : la tendreté, la justosité et l'intensité de la flaveur de poulet, notées sur des échelles allant de 1 à 5. Pour la tendreté, le 1 correspond à très dur, le 2 à dur, le 3 à acceptable, le 4 à tendre et le 5 à très tendre. Quant à la jutosité, le 1 correspond à très sec, le 2 à sec, le 3 à acceptable, le 4 à moelleux et le 5 à très moelleux. Enfin, l'intensité de la flaveur est très faible (1), faible (2), acceptable (3), forte (4) et très forte (5). Les poids à l'abattage, les caractéristiques de la carcasse, les qualités sensorielles de la viande ont été enregistrés et analysés. L'effet d'hétérosis a été estimé par la formule suivante :

$$\text{Hétérosis} = \frac{F_1 - \dfrac{(Parent1 + Parent2)}{2}}{\dfrac{(Parent1 + Parent2)}{2}}$$

Où, F1 est un produit des croisements MnFl, MlFn ou MsFl. Le parent a été mâle ou femelle Label Rouge et les poulets locaux de l'écotype nord ou de l'écotype sud selon le croisement. Les analyses ont été réalisées par le SAS (Statistical Analysis System, 1991) par la procédure GLM des modèles linéaires généralisés.

Résultat

Le tableau 1 présente l'effet d'hétérosis des aptitudes bouchères des différents croisés entre les poulets locaux et le Label Rouge. Les effets d'hétérosis ont été significatifs (P<0.001) et varient entre 12,86 et 22,65 pour le poids à l'abattage et les poids des carcasses des trois types de croisés. Les effets hétérosis les plus élevés ont été observés chez les croisés MlFn. Aucune amélioration n'a été observée pour le rendement de la carcasse à l'abattage chez les trios types de croisés. Les hétérosis respectifs des poids du bréchet, des cuisses et pilons et des ailes ont été hautement significatifs (P<0,01) chez les individus MlFn et MnFl et significatifs (P<0,05) chez les individus MsFl. Aucun effet hétérosis n'a été observé sur les proportions de cuisse et pilon, les ailes, la tendreté et la jutosité chez les trois croisés. La proportion du bréchet béneficie d'un effet hétérosis significatif chez les MlFn et MsFl (P<0,05) et la flaveur chez les individus MlFn (P<0,05).

Discussion

De façon générale, les trois types de croisement ont bénéficié d'un double effet hétérosis. En effet les croisés MnFl et MsFl sont sujets d'une part à un hétérosis individuel du fait qu'ils sont le produit d'un croisement de deux parents génétiquement éloignés et d'autre part d'un hétérosis maternel lié au fait que leur mère (Label Rouge) est elle-même le produit d'un croisement (T55 x SA51) et qu'elle leur confère un avantage par rapport à la situation ou elle est de race pure. Quant aux croisés MlFn, ils ont bénéficié d'un hétérosis individuel d'une part parce qu'étant les produits d'un croisement et d'autre part, un hétérosis paternel lié au fait que leur père (Label Rouge) est lui-même le produit d'un croisement (T55 x SA51). L'on pourrait s'attendre à ce que les métis MsFl possèdent des effets hétérosis aussi élevés que ceux des MnFl puisqu'ils contiennent aussi le sang du Label Rouge (connu pour ses bonnes performances d'abattage) que leurs différentes mères leurs auraient transmis, mais ceci n'en est pas le cas. Cette différence pourrait s'expliquer par l'expression de la vigueur des pères respectifs. En effet, dans une étude antérieure, les animaux du nord ont eu des caractéristiques de carcasse meilleures à celles des poulets du sud (Youssao *et al.,* 2009).

Tableau 1 : Effet hétérosis des individus issus de différents croisements entre les poulets locaux du Bénin et le Label Rouge.

Variable	MlFn (%)	MnFl (%)	MsFl (%)
Effectif	10	10	10
Poids Vif (g)	21,73***	14,21**	14,06**
Carcasse chaude (g)	22,65***	13,61**	14,19**
Carcasse Froide (g)	20,97***	12,86**	13,15**
†Rendement1 (%)	- 0,41NS	- 1,93NS	-1,60NS
††Rendement2 (%)	- 1,64NS	- 2,43NS	- 2,40NS
Bréchet (g)	26,85***	21,26***	18,46**
Cuisse pilon (g)	47,12***	12,16***	11,89**
Ailes (g)	30,58***	21,47***	23,10***
Bréchet (%)	10,02**	7,13NS	8,01**
Cuisse-pilon (%)	-0,48NS	2,44NS	-1,39NS
Ailes (%)	6,05NS	6,29NS	4,02NS
Tendreté	-5,22NS	-7,54NS	-5,76NS
Jutosité	-7,21NS	-5,71NS	-0,75NS
Flaveur	8,90*	5,69NS	1,58NS

* : P<0,05 ; ** : P<0,01 ; *** : P<0,001 ; NS : P>0,05 ;
† :rendement de la carcasse 1h après abattage ; †† : rendement de la carcasse 24h après abattage.

De la même manière, les taux d'hétérosis des MnFl pour les autres variables ont été meilleurs à ceux des deux autres types de croisés. Tout ceci conduit à proposer que le croisement dans le sens mâle du nord et femelle Label est le plus intéressant dans la présente étude. Les taux d'hétérosis calculés sur les rendements de la carcasse 1h et 24h après l'abattage ont été négatifs pour tous les trois types de croisements. Ces résultats sont contraires à ceux de Ricard (1990) qui rapporte que le rendement en viande des croisés est généralement meilleur à celui des souches parentales. De manière globale, il a été ainsi observé que l'expression du génotype des individus de la première génération (F1) a été supérieure à la demi-somme (autrement dit à la moyenne) des valeurs des génotypes parentaux, contrairement à ce qui devrait se produire s'il y avait simple addition de caractères.

Conclusion

La présente étude montre que les croisements entre les poulets locaux et le Label Rouge améliorent les aptitudes bouchères des croisés. Les taux d'hétérosis obtenus par rapport aux différentes variables du croisement mâle du Nord et femelle Label Rouge ont été les plus élevés. Nous en déduisons que ce sens de croisement serait le mieux adapté pour l'amélioration génétique des poulets locaux.

Références bibliographiques

Loukou N.E., Yapi-Gnaore C.V., Toure G., Coulibaly Y., Rognon X., Kayang B., Youssao I., Tixier-Boichard M., N'guetta A.S.P., 2009. Journal of Animal & Plant Sciences, 2009. Vol. 5, Issue 1: 425 - 436.
Osei-Amponsah R., Kayang B.B., Naazie A., Osei, Y.D., Youssao A.K.I., Yapi-Gnaore V., Tixier-Boichard M., Rognon X., 2010. Anim.Sci. J., Volume 81, Number 3, June 2010, pp. 297-303.
Ricard FH., 1990. Inra. 29-38p.
SAS. SAS/STAT, 1991. User's guide, vers. 6, 4th ed. Cary, NC, USA, SAS Inst, p120.
Youssao A.K.I., Rognon X. Yapi-Gnaore V. Kpodekon T.M., Idrissou N-D., Kayang B., Houinsou S.A., Ahounou Tixier-Boichard M..5th World Poultry Conference, 10 au 13 mars 2009, Taba, Egypt.
Youssao A.K.I., Tobada C.P., Koutinhouin G.B., Dahouda M., Idrissou N-D., Bonou G.A., U.P Tougan U.P., Ahounou S., Yapi-Gnaore V., Kayang B., Rognon X., Tixier-Boichard M., 2010. *Afr. J. of Biotech.,* volume 8 (25), 2010, pp.

EFFETS DE MARQUEURS DES GENES *RORC, LEPTINE, DGAT1, TG* ET *FABP4* SUR LE GRAS DE CARCASSE ET DE VIANDE DANS TROIS RACES BOVINES ALLAITANTES FRANÇAISES

ALLAIS S.[1,2], LEVEZIEL H.[3], HOCQUETTE J.F. [4], DENOYELLE C.[5], BERNARD-CAPEL C.[5], JOURNAUX L. [1], RENAND G.[2].

[1]UNCEIA, 75595 Paris Cedex 12 ; [2]INRA UMR 1313, 78352 Jouy en Josas Cedex ; [3]INRA/Université de Limoges UMR 1061, 87060 Limoges, [4]INRA UR1213, 63122 Saint Genès Champanelle ; [5]Institut de l'Elevage, 75595 Paris Cedex 12.

Introduction

Le gras intramusculaire, à l'origine du persillé de la viande, est un caractère important de la viande bovine car il apparaît corrélé à la flaveur et à la tendreté dans certaines races. Toutefois, en France, une teneur trop élevée en lipides intramusculaires a un impact négatif sur la décision d'achat du consommateur. De plus, ce caractère est génétiquement corrélé au gras de carcasse, caractère fort pénalisant en France. L'utilisation de marqueurs génétiques améliorant le persillé sans impacter le gras de carcasse serait un atout pour la maîtrise de la qualité de la viande. De nombreux travaux internationaux ont porté sur la détection de QTL et l'identification de marqueurs génétiques qui influencent ces caractères (Barendse et al, 2010 ; Schenkel et al, 2005 ; Pannier et al, 2010). Les effets de ces marqueurs ayant été mis en évidence sur des races et systèmes de production différents, il apparaît nécessaire de vérifier leurs effets dans les 3 principales races allaitantes françaises : Charolaise, Limousine et Blonde d'Aquitaine. L'objectif du présent travail est donc d'estimer les fréquences de ces marqueurs dans ces trois races et surtout d'estimer leur effet sur les caractères de gras de carcasse et de viande.

Matériel et Méthodes

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme Qualvigène du réseau AGENAE. Ce projet, soutenu par l'ANR, APIS-GENE, l'Office de l'Elevage et le FNE, a pour objectif la détection et la validation de marqueurs génétiques impliqués dans les qualités de la viande bovine. Le dispositif expérimental est constitué de 3349 jeunes bovins (JB) : 1114 Charolais, 1254 Limousins et 981 Blonds d'Aquitaine, issus de 114 pères mis en contrôle sur descendance entre les années 2004 et 2006. Les JB Limousins et Blonds d'Aquitaine ont été abattus à âge constant (respectivement à 16 et 14 mois) et les JB Charolais, à poids vif constant (730 kg environ). Ces JB ont été engraissés et abattus dans les conditions habituelles des programmes de sélection. Les gras internes (PGI, gras de rognon et de bassin) ont été pesés à chaud sur la chaîne d'abattage. Les 6ème à 9ème côtes de la demi-carcasse droite ont été prélevées 24 heures après abattage. La 6ème côte a été disséquée pour séparer muscle, gras et os. La teneur en gras de la 6ème côte (G6C) a été calculée comme le ratio du gras disséqué (sous-cutané et inter-musculaire) sur la somme des poids de gras et de muscle de cette côte. La teneur en lipides intramusculaires (LIM) a été mesurée sur le muscle longissimus thoracis (LT) de la 7ème côte. Tous les animaux (les JB, leurs pères et la majorité des mères) furent génotypés pour un SNP (Single Nucleotide Polymorphism) dans les gènes DGAT1 et TG (chromosome 14), 2 SNP dans les gènes RORC (chromosome 3) et FABP4 (chromosome 14) et 5 SNP dans le gène de la Leptine (LEP, chromosome 4). Ces SNP ont été choisis en fonction de la bibliographie, des possibilités de génotypages et des polymorphismes existant dans les trois races. Les génotypes ont été déterminés à Labogena selon la technologie TaqMan (Applied Biosystems). Pour estimer les associations entre les SNP et les caractères d'adiposité, les modèles d'analyse incluent systématiquement le lot d'abattage en effet fixe et le père en effet aléatoire. Les analyses sont réalisées par race à l'aide de la procédure MIXED de SAS. Pour chaque SNP, sous l'hypothèse d'absence de dominance, une régression sur le nombre de copies d'un des 2 allèles (0, 1 ou 2) a été réalisée afin d'estimer l'effet additif de cet allèle.

Résultats et Discussion

Le tableau suivant donne les effectifs d'animaux, moyennes et écart-types phénotypiques (σ_p) des caractères.

Caractères		Charolaise			Limousine			Blonde d'Aquitaine		
		N	Moy.	σ_p	N	Moy.	σ_p	N	Moy.	σ_p
Poids de gras interne (kg)	PGI	1107	8,74	2,11	1253	6,97	1,83	980	4,89	1,59
Gras de la 6ème côte (%)	G6C	1113	20,41	3,62	1254	17,2	2,91	981	12,76	2,67
Lipides intramusculaires (%)	LIM	1114	1,53	0,84	1254	1,18	0,49	981	0,56	0,37

Les fréquences alléliques des SNP du gène de la leptine sont relativement similaires entre les 3 races, exceptées pour LEP-5, pour lequel la fréquence de l'allèle T est plus faible en race Limousine que dans les 2 autres races (Tableau ci-contre). Les fréquences alléliques sont également proches dans les 3 races pour les marqueurs TG et FABP4-2. Concernant les marqueurs du gène RORC et DGAT1, la répartition des allèles est plus équilibrée en race Blonde d'Aquitaine, alors qu'en Charolaise les fréquences de l'allèle G sont faibles, voir très faibles (RORC-2). Quant au marqueur FABP4-1, la fréquence de l'allèle G est élevée dans les 3 races, notamment en race Blonde où cet allèle est quasiment fixé.

Les fréquences alléliques ($f_{allèle}$) des marqueurs, effet additif (a) de l'allèle étudié rapporté à l'écart type phénotypique (σ_p) et probabilité associée au test de student sont présentés dans le tableau suivant :

Marqueurs	Polymor-phisme	Allèle Etudié	Caractères	Charolaise			Limousine			Blonde d'Aquitaine		
				$f_{allèle}$	a/σ_p	P	$f_{allèle}$	a/σ_p	P	$f_{allèle}$	a/σ_p	P
RORC-1	A/G	G	PGI	10,4	-0,06	0,42	24,4	-0,04	0,42	57,3	-0,04	0,46
			G6C		0,07	0,35		-0,06	0,20		0,001	0,99
			LIM		0,003	0,97		-0,05	0,37		-0,03	0,61
RORC-2	A/G	G	PGI	3,6	-0,16	0,19	14,2	-0,03	0,58	32,2	-0,004	0,95
			G6C		-0,06	0,63		-0,09	0,15		-0,03	0,59
			LIM		-0,11	0,37		-0,02	0,70		-0,13	**0,01**
LEP-1	C/T	T	PGI	32,1	0,08	0,13	33,5	0,07	0,16	28,8	-0,07	0,19
			G6C		0,01	0,78		0,06	0,18		-0,01	0,85
			LIM		0,04	0,42		0,06	0,17		-0,01	0,88
LEP-2	A/T	T	PGI	9,5	0,07	0,40	9,0	-0,05	0,49	13,5	-0,16	**0,03**
			G6C		-0,04	0,57		0,07	0,37		-0,04	0,57
			LIM		0,13	0,11		0,04	0,64		-0,01	0,91
LEP-3	C/T	T	PGI	27,8	0,06	0,24	31,8	0,03	0,50	28,4	-0,09	0,12
			G6C		0,02	0,65		0,05	0,25		-0,01	0,92
			LIM		0,08	0,15		0,04	0,40		-0,02	0,78
LEP-4	C/T	T	PGI	29,4	-0,10	**0,05**	20,9	0,01	0,89	29,4	-0,04	0,46
			G6C		-0,03	0,63		0,03	0,55		-0,01	0,82
			LIM		-0,01	0,80		-0,01	0,87		-0,04	0,50
LEP-5	C/T	T	PGI	81,0	-0,01	0,87	58,2	0,07	0,11	72,6	-0,09	0,11
			G6C		0,04	0,52		0,12	**0,01**		-0,01	0,83
			LIM		0,10	0,12		0,06	0,17		-0,07	0,23
DGAT1	AA/GC	GC	PGI	92,6	-0,04	0,68	88,0	0,04	0,58	68,6	-0,03	0,58
			G6C		-0,13	0,11		0,11	0,10		-0,03	0,54
			LIM		-0,04	0,63		0,002	0,97		0,10	0,06
TG	C/T	T	PGI	85,1	-0,10	0,13	89,4	0,02	0,81	87,0	-0,17	**0,02**
			G6C		-0,12	0,08		0,11	0,12		-0,02	0,76
			LIM		-0,04	0,56		0,07	0,32		0,04	0,56
FABP4-1	A/G	G	PGI	87,0	-0,004	0,95	90,1	-0,11	0,12	99,2	0,08	0,74
			G6C		-0,03	0,71		-0,22	**0,002**		0,08	0,74
			LIM		0,02	0,77		-0,15	**0,05**		0,18	0,47
FABP4-2	C/T	T	PGI	48,3	0,02	0,70	58,0	0,06	0,19	44,1	0,08	0,11
			G6C		0,10	**0,05**		0,11	**0,01**		-0,05	0,36
			LIM		0,03	0,55		0,03	0,43		0,05	0,28

Peu de marqueurs ont un effet significatif sur les caractères de gras dans les 3 races. De plus ces effets sont relativement faibles (entre |0.10| et |0.22| σ_p) et spécifiques d'une race (i.e. significatifs dans une seule race). Deux SNP ont été identifiés comme ayant un effet sur le taux de lipides intramusculaires, le marqueur RORC-2 en race Blonde et le marqueur FABP4-1 en race Limousine. Ce dernier a également un fort effet sur le gras de la 6ème côte alors que le marqueur RORC-2 n'affecte pas le gras de carcasse en race Blonde.

Conclusion

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence des marqueurs ayant un effet exploitable dans les 3 populations, ni de forts effets intra-race. Elle a toutefois confirmé une précédente observation, à savoir que les effets des marqueurs diffèrent d'une race à l'autre. L'utilisation de la puce génomique 54000 SNP devrait permettre d'identifier des marqueurs plus adaptés à nos races françaises dans un avenir proche.

Références bibliographiques

Barendse W., Bunch R. and Harrison B., 2010. J. Anim. Sci., 88, 47-51.
Pannier L., Mullen A., Hamill R., Stapleton P., Sweeney T., 2010. Meat Sci., 85, 515-518.
Schenkel F., Miller S., Ye X., Moore S., Nkrumah J., Li C., Yu J., Mandell I., Wilton J., Williams J., 2005. J. Anim. Sci., 83, 2009-2020.

EFFET DU STRESS PRE-ABATTAGE SUR L'EXPRESSION DES GENES IMPLIQUES DANS LA REGULATION DE LA LIPOPEROXYDATION DANS LE MUSCLE DE BOVIN

CHERFAOUI M., GRUFFAT D., CASSAR-MALEK I., PICARD B., HOCQUETTE J.F., DE LA FOYE A., DURAND D.

INRA, UR 1213 Herbivores, Theix, 63122 St-Genès-Champanelle, France

Introduction

Les conditions auxquelles sont soumis les animaux pendant la période de pré-abattage, comme, entre autres, la privation de nourriture, la séparation sociale, le transport et la présence de l'homme…, sont autant de sources de stress émotionnels et physiques pour l'animal qui peuvent affecter notablement les qualités organoleptiques et nutritionnelles des viandes (Terlouw, 2007). En effet, le stress subi durant la phase qui précède l'abattage, même de faible intensité, augmente significativement la production d'espèces réactives à l'oxygène (ERO) favorisant les phénomènes de lipoperoxydation (Gobert et al., 2009) et aboutissant à la formation de divers produits de décomposition indésirables qui confèrent des odeurs et des flaveurs désagréables souvent qualifiés de rance. En outre, ils conduisent à la modification de la texture, de la couleur des produits en raison de la co-oxydation des pigments et une diminution de la valeur nutritionnelle des aliments par la perte d'acides gras essentiels, de vitamines et d'acides aminés indispensables, voire vraisemblablement une certaine toxicité (McClements et Decker, 2000). Toutefois, l'organisme des animaux est équipé de plusieurs systèmes de défense endogènes tels que 1) des enzymes (superoxyde dismutases, catalase, glutathion peroxydases, peroxyrédoxine...), 2) des molécules antioxydantes de petite taille (caroténoïdes, vitamines C et E, glutathion...) et 3) des protéines (transferrine, ferritine,…) qui interviennent dans la régulation de la production d'ERO et/ou dans l'interruption des réactions en chaîne de lipoperoxydation (Pincemail et al., 2002). Ces défenses endogènes peuvent être renforcées par des apports alimentaires en antioxydants (vitamine E, antioxydants végétaux…). Cependant, en cas de stress pré-abattage, Gobert et al. (2009) ont montré une amplification de la lipoperoxydation même chez les animaux supplémentés en vitamine E et en extraits végétaux, ayant des activités anti-oxydantes, indiquant que ces processus sont encore mal maitrisés.
L'objectif de la présente étude est de mieux comprendre les mécanismes cellulaires endogènes impliqués dans la protection de l'organisme vis-à-vis de la lipoperoxydation en étudiant la régulation de l'expression de différents gènes impliqués dans le stress oxydant en fonction de différentes conditions nutritionnelles et d'élevage.

Matériels et Méthodes

Animaux L'expérience a été conduite sur 32 vaches Normandes de réforme (4 - 5 ans, ~ 642 kg de poids vif à l'abattage) en finition pendant 100 jours. Les animaux, répartis en 2 lots, ont reçu des régimes composés d'une même ration de base constituée d'aliment concentré et de paille (70/30) supplémentée avec un mélange de graines de lin et de colza (1/3 - 2/3 ; 4% de lipides/kg MS de la ration) apporté seul (Traitement : **LC**) ou avec un mélange d'antioxydants [vitamine E + extraits végétaux riche en polyphénols (EVRP) (7 g/kg MS de la ration) (Société phytosynthèse, Riom, France)] (Traitement : **LCEP**). Dans chaque lot d'animaux, la moitié a été soumise à des conditions de stress « physique et émotionnel » juste avant abattage (transport seul en bétaillère, course forcée de 30 min dans un dédale de couloirs) (Traitement : **LCS** et **LCEPS**) alors que l'autre moitié des animaux a été conduite directement à l'abattoir accompagnée d'un congénère. Immédiatement après abattage, les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) ont été prélevés stérilement et conservés à -80°C.

Extraction des ARN et hybridation sur la puce à ADN (microarray) GENOTEND Les ARN totaux des tissus ont été extraits au Trizol (TRIzol reagent, Invitrogen) et purifiés sur colonne RNeasy (Rneasy Mini kit, Qiagen). L'intégrité des ARN a été vérifiée sur BioAnalyseur 2100 (Agilent Technologies). Une puce dédiée « Tendreté de la viande » a été développée dans le cadre du projet « GENOTEND » (Hocquette et al., 2009) par la société biopharmaceutique IMAXIO (Biopôle Clermont–Limagne, Saint Beauzire, France). Cette puce permet d'étudier l'expression de plus de 3000 gènes (sélectionnés sur la base d'études en protéomique et en transcriptomique et de connaissances bibliographiques) impliqués dans la qualité de la viande et notamment de 37 gènes impliqués dans les processus de lipoperoxydation. Les ARNc marqués ont été synthétisés grâce au kit Quick Amp Labelling Kit, One color (Agilent Technologies) et ont été hybridés sur les lames (GENOTEND_V2, Agilent Technologies) selon l'approche simple couleur. La lecture de la puce a été réalisée par un scanner Agilent équipé d'un logiciel d'acquisition d'images Feature Extraction 10.1. Les résultats ont été normalisés grâce à des sondes « contrôle ». Des modèles linéaires avec modération bayésienne de la statistique de test par la prise en compte de l'ensemble des sondes ont été réalisés à l'aide de la librairie Limma du logiciel R pour l'évaluation des différents effets d'intérêt sur les 282 sondes associées aux 37 gènes mentionnés ci-dessus. Les probabilités associées à ces effets ont ensuite été corrigées à l'aide de la méthode de Benjamini-Hochberg sur

l'ensemble de ces sondes. Seuls les gènes pour lesquels toutes les sondes sont différentielles à 12% (les ratios étant concordants) ont été retenus.

Résultats et Discussion

L'approche de transcriptomique dédiée réalisée grâce à la puce GENOTEND nous a permis d'analyser l'expression de 37 gènes impliqués dans les processus de peroxydation des lipides. Parmi ces gènes, 17 codent des protéines anti-oxydantes, 5 des protéines pro-oxydantes, 6 des protéines impliquées dans la réponse au stress oxydant et 9 des protéines impliquées dans le métabolisme des ERO.
Une première analyse de l'expression de ces gènes sur les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) a permis de mettre en évidence 2 gènes différentiellement exprimés mais uniquement dans le muscle ST chez les animaux stressés par rapport aux animaux non stressés. Ces gènes sont surtout impliqués dans la réponse immédiate de l'organisme à un stress physique ou émotionnel que dans la régulation pro ou antioxydante. En revanche, aucune différence significative d'expression n'a pour l'instant pu être mise en évidence dans le muscle LT. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Gobert et al. (2009) qui avaient mis en évidence une augmentation significative des processus de lipoperoxydation chez les animaux stressés par rapport aux animaux témoins (MDA : +40%, $P<0,01$), et ce, de façon plus marquée dans le muscle ST que LT. Cette différence est probablement dû au faite que le muscle ST est un muscle maigre, proportionnellement plus riche en membranes cellulaires que le muscle LT conduisant ainsi à une plus importante peroxydabilité de ce muscle.
D'autre part, le nombre de gènes impliqués dans les processus de lipoperoxydation différentiellement exprimés de manière significative (deux gènes) entre animaux stressés ou non est très faible. Différentes hypothèses pourraient expliquer cette réponse modérée du muscle squelettique : 1) le stress appliqué aux animaux était d'une intensité trop faible et d'une durée trop courte pour moduler l'expression des gènes étudiés, 2) l'expression de ces gènes est principalement régulée au niveau traductionnel et/ou post-traductionnel en cas de stress afin de permettre une réponse plus rapide de l'organisme.
Enfin, l'ajout d'antioxydants exogènes dans la ration des animaux n'a pas modifié l'expression des gènes codant des protéines endogènes impliquées directement dans la régulation antioxydante. Ce résultat semble indiquer que cette régulation par les antioxydants 1) se fait soit directement par action des antioxydants en tant que capteurs de radicaux libres 2) par la régulation d'autres gènes qui n'ont pas été étudiés ici 3) à un autre niveau que transcriptionnel (au niveau traductionnel ou sur l'activité même des protéines)

Conclusion

Cette étude préliminaire, utilisant une puce à ADN dédiée « qualité de la viande » nous a permis d'effectuer un premier balayage des protéines endogènes potentiellement impliquées dans les processus de lipoperoxydation et d'étudier la régulation de leur expression en fonction de différentes conditions nutritionnelles et d'élevage. Bien que ces résultats nécessitent d'être validés par une approche en qPCR, et qu'ils aient été obtenus sur un petit nombre d'animaux, il apparaît que le stress appliqué juste avant l'abattage ne modifie pas significativement l'expression des gènes impliqués dans la régulation du stress oxydant mais plutôt les gènes impliqués dans la réponse du muscle au stress lui-même. La poursuite de l'analyse des résultats sur l'ensemble des gènes de la puce GENOTEND devrait permettre de préciser à court terme si d'autres gènes que ceux habituellement suivis dans les puces dédiées sont impliqués dans la réponse au stress et la régulation du stress oxydant. Cette approche très originale conduite sur ruminant pour évaluer la réponse de l'organisme au stress ouvre de nouvelles perspectives d'investigation très prometteuses.

Références bibliographiques

Gobert M. Bourguet C., Terlouw C., Deiss V., Berdeaux O., Compte B., Gruffat D., Bauchert D., Durand D., 2009. Pre-slaughter stress and lipoperoxidation: protective effect of vitamine E and plant extracts rich in polyphenols given to finishing cattle. 11th International Symposium on Ruminant Physiology (Clermont-ferrand, September 2009).
Hocquette J.F., Bernard-Capel C., Vuillaume M.L., Jesson B., Levéziel H., Cassar-Malek I., 2009. The GENOTEND chip : a toll to analyse gene expression in muscles of beef cattle. BIT's 2nd Ann. Congr. Expo of Molecular Diagnostics (CEMD-2009). November 19-21, Beijing, China, 92.
McClements D.J., Decker E.A., 2000. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. Journal of Food Science, 65, 1270-1282.
Pincemail J., et Bonjean K., Cayeux K., Defraigne J.O., 2002. Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. Nutrition clinique et métabolisme, 16, 233-239.
Terlouw E.M.C., Arnould C., Auperin B., Berri C., Le Bihan-Duval E., Lefevre F., Lensink J., Mounier L., 2007. Impact des conditions de pré-abattage sur le stress et le bien-être des animaux d'élevage. INRA Prod. Anim., 20, 93-100.

MUSCLON : DEVELOPPEMENT MUSCULAIRE DES BOVINS OBTENUS PAR CLONAGE SOMATIQUE

CASSAR-MALEK I.[1], PICARD B.[1], LISTRAT A.[1], JURIE C.[1], MEUNIER B.[1], De LA FOYE A.[1], CHAVATTE-PALMER P.[2], GUILLOMOT M[2], HUE I[2], SANDRA O.[2], VIGNON X.[2], HEYMAN Y.[2]

[1]INRA, UR1213- Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France

[2]INRA, UMR Biologie du Développement et de la Reproduction (BDR), 78352 Jouy-en-Josas, France

Introduction

Le clonage par transfert de noyaux somatiques, une biotechnologie récente de la reproduction chez les animaux de rente, peut avoir plusieurs applications comme par exemple la contribution à la sélection bovine (clonage de reproducteurs d'élite) et la reproduction de génotypes rares (sauvegarde de races en voie d'extinction). A l'INRA, les bovins clonés font l'objet de programmes de recherches pour évaluer leur santé, leurs performances à l'âge adulte et pour caractériser leurs produits ainsi que les éventuels risques associés au clonage (Heyman *et al.*, 2007).

Le programme MUSCLON (ANR GenAnimal 2007-2009) avait pour objectif de caractériser les muscles (précurseurs de la viande) des bovins issus de clonage somatique et de leur descendance et de comparer le développement musculaire (myogenèse) de ces derniers à celui de bovins issus de reproduction sexuée.

Matériel et méthodes

Le cœur du programme est la description de la myogenèse des clones en comparaison de celle de témoins et des profils moléculaires associés, au cours de la vie postnatale et fœtale. Les clones ont été produits par transfert de noyaux somatiques par l'Unité INRA BDR et l'UCEA-Bressonvilliers. Leurs témoins ont été générés par insémination artificielle. Pour l'analyse des caractéristiques musculaires (métabolisme énergétique et type contractile), des échantillons de muscle *Semitendinosus* (ST) ont été prélevés à 8, 12 et 18 mois de vie et à 60 et 260 jours (J) de gestation, deux stades clés de la myogenèse chez le Bovin. En complément, une analyse du protéome musculaire a été effectuée à J60 et J260. Une analyse transcriptomique a été réalisée sur des fœtus entiers à J30 en utilisant le réseau bovin de 22000 oligonucléotides longs (22K) produit par le CRB GADIE.

Sur les descendants F1 de clones (n=15), des biopsies répétées de muscle ST ont été réalisées en période postnatale à plusieurs âges (8, 12 et 18 mois) pour évaluer leur métabolisme énergétique et leur type contractile.

Résultats et discussion

***Clones**:* Un retard dans l'évolution des caractéristiques contractiles et métaboliques a été montré dans les muscles des clones, jusqu'à 12 mois après la naissance, par un métabolisme plus oxydatif et un décalage dans l'acquisition du type contractile adulte. L'analyse de la structure histologique des muscles des clones fœtaux a révélé un retard dans la myogenèse dès J60. A ce stade, la densité des myotubes primaires et le degré d'organisation des faisceaux de fibres sont inférieurs à celui des témoins, et la répartition spatiale des certains composants de la matrice extracellulaire est différente. Toutefois, ce retard ne semble pas s'expliquer par un défaut de vasculogenèse. A J260, les muscles des clones sont caractérisés par une activité métabolique inférieure à celle des témoins (par exemple -35 % pour les activités isocitrate deshydrogénase et phosphofructokinase, P<0,001) et par un retard dans l'acquisition des isoformes adultes de la chaîne lourde de myosine. Ainsi, à la naissance, les muscles des clones n'ont pas atteint le même degré de différenciation que ceux de leurs témoins (Cassar-Malek *et al.*, 2010a ; figure 1).

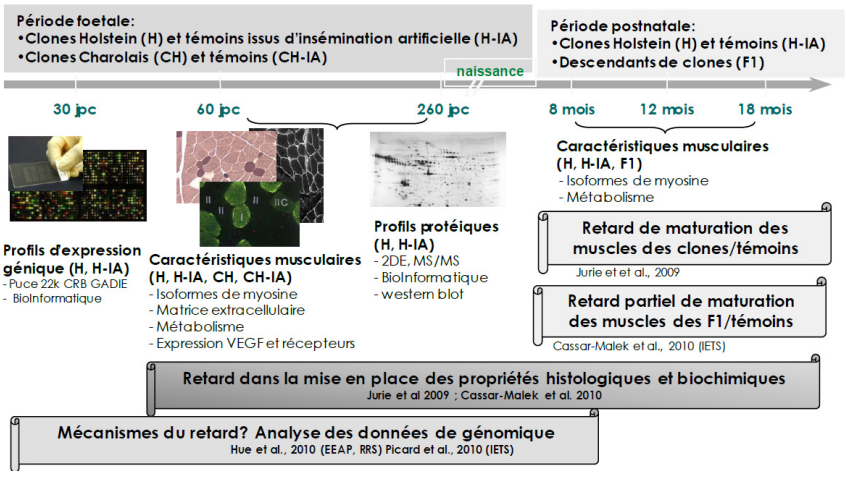


Figure 1. Programme MUSCLON : L'analyse des caractéristiques musculaires des clones et de leurs descendants, depuis les stades fœtaux jusqu'à la vie adulte, montre un retard dans la myogenèse des clones partiellement retrouvé chez les descendants de clones.

L'analyse comparative du protéome musculaire a été réalisée chez les clones et leurs témoins à J60 (dans un groupe d'animaux Holstein et un groupe d'animaux Charolais, n=4 fœtus par lot) et à J260 (dans un groupe d'animaux Holstein, n=4 fœtus par lot) (Picard *et al.*, 2010). Les profils protéiques étaient visuellement très différents entre les stades. Pour l'analyse statistique, 463 spots et 491 spots communs à tous les gels ont été retenus respectivement à J60 et J260. Cette analyse réalisée à l'aide de la méthode SAM (FDR<5%) n'a permis de mettre en évidence qu'un faible effectif de spots différentiels entre clones et leurs témoins (9 et 10 spots à J60 respectivement chez les Holstein et les Charolais et 10 spots à J260 chez les Holstein). Ces derniers ont été prélevés sur les gels et identifiés par spectrométrie de masse à la Plate-forme Exploration Fonctionnelle du Métabolisme de l'INRA de Theix. L'abondance différentielle de certaines protéines (sous-abondance de l'albumine, l'anti-trypsine et l'annexine V et sur-abondance de 14-3-3 dzéta et alpha/béta à J60 ; sous-abondance de triose phosphate isomérase, troponines T, annexine 4, et sur-abondance de l'Apolipoprotéine A1 et des Hsp20 et Hsp27 à J260) a été vérifiée par western-blot.

L'analyse différentielle du transcriptome de clones Holstein à J30 (n=4) et de leurs témoins (n=4) a permis d'établir une liste de 339 oligonucléotides différentiels (P< 0,01) correspondant à 215 gènes différents. L'analyse bioinformatique des données a révélé, dans cette liste, des facteurs de transcription impliqués dans le développement (dont 4 gènes à homeobox) et leurs gènes cibles, et des gènes impliqués dans des processus développementaux, en particulier dans la myogenèse et l'angiogenèse. L'expression différentielle d'une quinzaine de gènes (sur-expression de MYH3, MSTN et ZFHX4 et sous-expression de APOA1, AFP et STMN2) a été validée par qPCR.

Une analyse conjointe des jeux de données issues de la transcriptomique et de la protéomique a été réalisée à l'aide du logiciel Ingenuity Pathways, dans le but d'intégrer les données de génomique du programme et d'identifier des réseaux moléculaires susceptibles d'être perturbés chez les clones (Hue *et al.*, 2010). Elle a indiqué que le métabolisme des lipides et l'angiogenèse (J30), la régulation du cycle cellulaire / apoptose (J60) et le métabolisme énergétique et l'activité des chaperonnes (J260) sont affectés chez les clones.

Descendants F1 de clones: A 8 mois de vie, les muscles des F1 présentent un pourcentage de fibres IIA et un métabolisme oxydatif plus élevés que les muscles des témoins, et intermédiaire à celui des clones. Ces données indiquent que les muscles des descendants des clones présentent, à la première génération, un retard partiel de maturation dans le jeune âge (Cassar-Malek *et al.*, 2010b ; figure 1).

Conclusion

Nous avons montré, pour la première fois, l'existence d'un retard de différenciation des muscles des bovins clonés dès la fin du premier mois de la vie fœtale et d'un retard de maturation musculaire jusqu'à un an de vie. Les muscles des descendants des clones, les plus susceptibles d'entrer dans l'alimentation humaine, ont un retard partiel de maturation. Une abondance différente des protéines et des transcrits de gènes liés à la progression de la myogenèse a été révélée chez les clones en comparaison des témoins. Les perspectives de ces travaux sont de poursuivre l'identification des mécanismes mis en jeu dans le retard de myogenèse des clones, et de rechercher les marques épigénétiques susceptibles d'être modifiés chez les clones, en particulier sur les gènes liés à la myogenèse.

Références

Cassar-Malek I., Picard B;, Jurie C., Listrat A., Guillomot M., Chavatte-Palmer P., Heyman Y., 2010a. Cellular Reprogramming (Formerly "Cloning and Stem Cells"), 12, 191-201.

Cassar-Malek I., Heyman Y., Picard B.; Richard C., Chavatte-Palmer P., Jurie C., 2010b. Reproduction Fertility and Development, 22 (1): 181-182.

Hue I., Liszewskaa E., Valour D., de la Foye A., Meunier B., Picard B., Sandra O., Heyman Y., Cassar-Malek I., 2010. EEAP Annual Meeting 2010, August 23rd-27th 2010, Heraklion (Greece).

Heyman Y., Chavatte-Palmer P., Berthelot V., Fromentin G., Hocquette J.F., Martignat L., Renard J.P., 2007. Theriogenology, 67, 134-141.

Jurie C., Picard B., Heyman Y., Cassar-Malek I., Chavatte-Palmer P., Richard C., Hocquette J.F., 2009. Animal 3, 244-250.

Picard B., Meunier B., Heyman Y., Chavatte-Palmer P., Cassar-Malek I., 2010. Reproduction Fertility and Development, 22 (1) 195-196.

Remerciements:

G. Gentes, C. Barboiron, D. Chadeyron, A. Delavaud, N. Dunoyer, C. Nore, E. Liszewska, D. Valour N. Hafsia, D. Le Bourhis, C. Richard et le personnel de l'abattoir de l'URH et de l'UCEA de Bressonvilliers.

SELECTION GENETIQUE SUR LA REPONSE AU STRESS ET STRESS A L'ABATTAGE: CONSEQUENCES SUR LE PROTEOME MUSCULAIRE ET LIEN AVEC LA QUALITE DE LA CHAIR CHEZ LA TRUITE ARC-EN-CIEL

LEFEVRE F.[1], PABOEUF, G.[1], POTTINGER, T.G.[2], BUGEON J.[1]

1 : INRA, UR1037, SCRIBE, IFR 140, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex France
2 : Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster LA1 4YQ, England

Introduction

L'origine génétique des animaux est un des facteurs déterminants des caractéristiques des poissons en élevage (croissance, morphologie…) et de la qualité de leur chair. Une sélection divergente, basée sur la réponse individuelle de truite, en terme de niveau plasmatique de cortisol, suite à un stress aigu de confinement, a permis de montrer que ce paramètre est héritable, et d'obtenir des familles de truites présentant des niveaux de réponse à un stress aigu bien distincts (Pottinger et Carrick, 1999). Les animaux de ces familles divergentes ont été caractérisés pour leur croissance, qui s'avère meilleure pour les poissons répondant faiblement au stress, leur morphologie, et la qualité de leur chair. Les poissons répondant faiblement au stress présentent une chair moins lumineuse, plus jaune, et une résistance mécanique moindre associée à des fibres musculaires plus grosses et une teneur en lipides plus importante (Lefèvre et al., 2008a).
Un stress au moment de l'abattage modifie le métabolisme *post-mortem* et conduit, la plupart du temps chez les salmonidés, à une chair moins ferme et plus pale (Lefèvre et al., 2008b). Un tel effet a été confirmé dans cette expérimentation de façon similaire pour les deux souches sélectionnées. Les protéines permettant d'expliquer potentiellement ces différences de qualité ne sont pas connues.
L'objectif de ce travail était d'identifier les protéines différentiellement exprimées entre les deux souches sélectionnées et ayant subies ou non un stress de confinement juste avant l'abattage et de faire le lien avec les paramètres de qualité déjà mesurés.

Matériels et Méthodes

Vingt truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) répondant fortement (**HR** pour "High Responding") et 20 truites répondant faiblement (**LR** pour Low Responding") à un stress aigu, ont été analysées au stade portion (poids vif moyen 254g). Les poissons ont été abattus soit selon une procédure non stressante (groupe **NS**, anesthésie et coup sur la tête), soit selon une procédure stressante (groupe **S,** 15 min de confinement, anesthésie, coup sur la tête,). Des prélèvements de muscle blanc profond dorsal ont été effectués en avant de la nageoire dorsale. Les échantillons ont été congelés dans l'azote liquide puis stockés à –80°C. Les protéines musculaires sont extraites par la solution de solubilisation (Urée 8M, Chaps 4%) et analysées par électrophorèse bidimensionnelle (2D-PAGE). L'IsoElectroFocalisation (IEF) a été réalisée sur un gradient de pH 3-10 non linéaire (24 cm) sur IPG-Phor (GE Healthcare) et la deuxième dimension sur SDS-PAGE sur des gels à 12,5% d'acrylamide avec un Dalt VI (GE Healthcare). Les gels ont été colorés avec du "silver blue" (Candiano et al. 2004), scannés et analysés avec Image Master Platinum (GE Healthcare). Les spots d'intérêt ont été prélevés manuellement, digérés par la trypsine et les peptides obtenus ont été analysés par spectrométrie de masse MALDI-tof et MS-MS quand le profil le permettait.

Résultats et Discussion

L'analyse des protéines totales en 2D-PAGE a révélé 24 spots protéiques différentiels soit entre les deux souches, soit entre animaux stressés ou non stressés, soit pour une interaction entre ces deux facteurs ($P<0,05$, 32 spots pour un seuil de $P<0,10$). Parmi eux, 16 spots ont été identifiés à un seuil $P<0,05$ et 6 spots avec un seuil $0,05<P<0,10$. Le Tableau 1 et la Figure 1 présentent respectivement la liste et la localisation de ces spots identifiés. L'effet souche révèle surtout des protéines surexprimées chez les poissons LR (TnT, Pdlim7, Apo A1, TPI et Nme), seule la FABP-H est surexprimée chez les HR. L'effet d'un stress au moment de l'abattage révèle surtout des protéines surexprimées chez les animaux stressés (desmin, myeloperoxidase, MDH, Apo A1, Nme, MyLC3 et PV). Quelques interactions entre les deux facteurs ont été observées avec une sous-expression de plusieurs spots correspondant à Nme chez les HR-NS et une sous-expression d'un spot de MyLC1 chez les LR-NS. Les différences observées entre les deux souches peuvent être reliées aux caractéristiques différentes des poissons de ces deux lignées, les LR étant plus gros et plus gras que les HR. L'effet d'un stress au moment de l'abattage sur le protéome musculaire a déjà été observé chez la truite arc-en-ciel (Morzel et al., 2006) mais dans cette étude le stress conduisaient plutôt à une moindre abondance de protéines de structure, telles que la desmine ou CapZ, ou d'enzymes du métabolisme, telles que l'α-enolase, la TPI ou la pyruvate déshydrogénase. La tendance de surabondance du spot de la cCAH que nous observons chez les animaux NS avait déjà été révélée dans cette précédente étude.
L'analyse en composante principale des données de protéomique et des autres caractéristiques des poissons ou de la qualité de leur chair (Figure 2) montre que le niveau d'expression de certains spots (desmin ou FABP-H) est corrélé positivement à la résistance mécanique des filets crus (M/Pcru) tandis que d'autres (myeloperoxidase, Apo A1) sont corrélés négativement avec ce même paramètre. La résistance mécanique du produit cuit est quant à elle corrélée positivement aux niveaux d'expression de spots tels que Apo A1, Nme ou PV. Ce type d'analyse permet d'envisager la mise en évidence de nouveaux marqueurs de la qualité de la chair de truite

Tableau 1 : Spots différentiellement exprimés identifiés.

n°	Protéine identifiée (espèce)	Effet Souche	Effet Stress	Souche x Stress
1	Desmin (RT)	t. HR>LR	-	-
2	Desmin (RT)	-	S>NS	t. inter
3	Myeloperoxidase (PC)	t. LR>HR	S>NS	t. inter
5	TnT (R. trout)	LR>HR	-	-
6	CU-SCAF (AS)	-	S>NS	-
7	Enolase (RT)	-	t. S>NS	-
8	MDH (OL)	-	S>NS	-
11	TnT (RT)	-	-	*
14	Pdlim7 (RT)	LR>HR	-	-
15	cCAH (RT)	-	t. NS>S	-
16	Apo A1 (RT)	-	-	-
17	Apo A1 (RT)	LR>HR	S>NS	-
18	TPI (RT)	LR>HR	-	-
19	MyLC1 (RT)	-	t. S>NS	LR-NS<
23	Nme (RT)	LR>HR	-	HR-NS<
24	Nme (RT)	-	-	t. inter
25	Nme (RT)	-	t. S>NS	HR-NS<
26	Nme (RT)	-	S>NS	HR-NS< HR-S
27	MyLC3 (AS)	-	S>NS	-
29	FABP-H (RTt)	HR>LR	-	-
30	PV beta 1 (RT)	-	t. S>NS	-
31	PV beta 1 (RT)	-	S>NS	-

t=tendance : 0,05<P<0,10, TnT : troponin T muscle rapide; CU-SCAF : Chromosome undetermined SCAF14228; MDH : Malate dehydrogenase; cCAH : Cytoplasmic carbonic anhydrase; Apo A1 : Apolipoprotein A-I-1 precursor; Triosephosphate isomerase : TPI; MyLC1 et 3 : Myosin light chain 1 et 3, respectivement; Nucleoside diphosphate kinase : Nme; FABP-H : Fatty acid-binding protein, heart; PV : Parvalbumin; RT : rainbow trout; PC : Perche chinoise; AS : Atlantic salmon; OL : Oryzias latipes;
* : P<0,05 pour l'interaction mais pas de différences entre les lots dans la comparaison de moyenne.

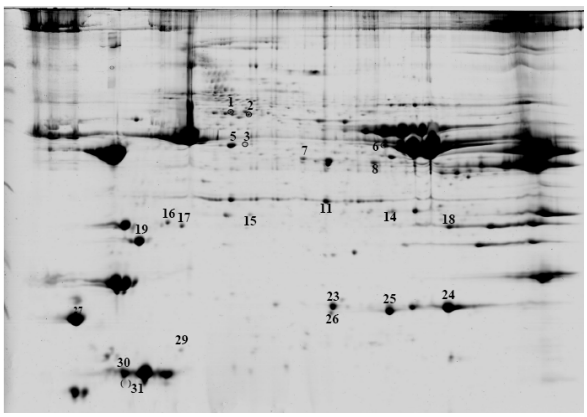


Figure 1 : Localisation des spots d'intérêt identifiés sur un gel 2D-PAGE de muscle blanc de truite, IEF : 3-10NL 24cm, SDS-PAGE : 12,5%.

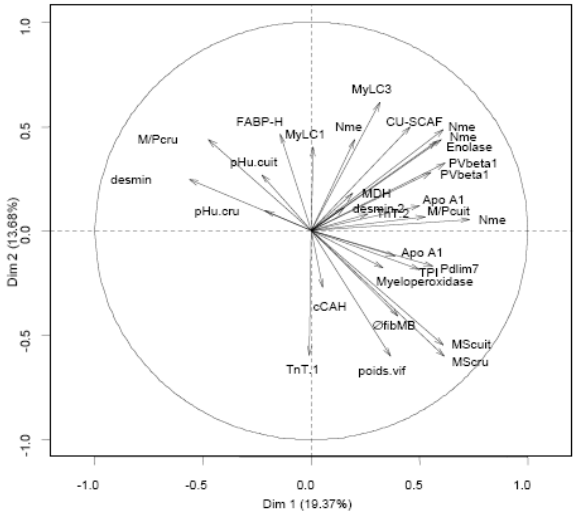


Figure 2 : Analyse en composante principale des spots différentiellement exprimés et des autres paramètres mesurés. M/P: Force max/poids échantillon, MS: teneur en matières sèches, pHu: pH de la chair à 48h *post-mortem*

Conclusions

Une sélection divergente sur la réponse à un stress aigu et un stress au moment de l'abattage modifient les niveaux d'expression de certaines protéines musculaires confirmant ainsi l'importance des paramètres génétiques et de la maîtrise des conditions d'abattage dans les caractéristiques du muscle blanc de truite arc-en-ciel. La mise en relation de ces modifications avec les paramètres de qualité permet d'envisager l'obtention de nouveaux indicateurs de la qualité de la chair.

Références bibliographiques

Candiano G., Bruschi M., Musante L., Santucci L., Ghiggeri G.M., Carnemolla B., Orecchia P., Zardi L., Righetti P.G., 2004. Electrophoresis, 25, 1327-1333.
Lefèvre F., Cos I., Pottinger T.G., Bugeon J., 2008a. V.P.C. Sp. Issue 12èmes JSMTV, 177-178.
Lefèvre F., Bugeon J., Auperin B., Aubin J., 2008b. Aquaculture, 284, 81-89.
Morzel M., Chambon C., Lefèvre F., Paboeuf G., Laville E., 2006. J. Agric. Food Chem., 54, 1997-3001.
Pottinger T.G., Carrick T.R., 1999. Gen. Comp. Endocrinol., 116, 122-132.

Remerciements

Les auteurs remercient Dave Abel pour l'élevage des poissons et son aide lors de l'abattage, et Emmanuelle Com, Régis Lavigne et Djibril Ousmanou de la plateforme protéomique Biogenouest® pour leurs conseils techniques et leur encadrement pour l'identification des protéines en spectrométrie de masse. Ce travail a été financé dans le cadre du projet européen Aquafirst n° 513692.

MISE AU POINT D'UN NUANCIER POUR EVALUER LA COULEUR DE LA VIANDE DE GROS BOVINS

PIERRET P., PAOLI J.-N., COINTAULT F., JOUANNO M.

AGROSUP Dijon, Département Agronomie, Agroéquipement, Elevage et Environnement
BP 87999 21079 Dijon Cedex .

Introduction

La couleur de la viande intervient dans l'orientation des carcasses de gros bovins à l'abattoir selon les marchés et elle est intégrée dans les cahiers des charges des démarches de qualité (Denoyelle *et al.*, 1997). En Bourgogne, 2 signes de qualité sont demandeurs d'un outil simple d'évaluation de la couleur de la viande : l'association Charolais Label Rouge qui doit justifier d'une « belle couleur rouge franc » pour la viande et le syndicat « AOC - Bœuf de Charolles » qui cherche à caractériser la variabilité de la couleur des viandes de femelles charolaises considérées comme typiques et ainsi labellisables en AOP. Le travail présenté ici fait écho à cette commande de conception d'un nuancier de couleur facilement utilisable en abattoir. Il existe plusieurs espaces colorimétriques fondés soit sur la chromaticité et la luminance (espace X, Y, Z), la luminance et les chrominances (CIE Lab), les couleurs réelles rouge-vert-bleu (RVB). Il existe une dizaine d'espaces colorimétriques différents mais les plus couramment utilisés sont l'espace RVB (retenu dans ce travail par rapport à la construction d'un nuancier) et l'espace CIE Lab (le plus souvent utilisé par la recherche).

Matériel et Méthodes

L'étude, réalisée dans 4 abattoirs le lendemain des abattages, a porté sur les carcasses de 250 femelles charolaises. Deux opérateurs ont effectué des photographies et mesures des valeurs CIE Lab au colorimètre 400 Konica en 3 points d'une coupe oxygénée depuis au moins 30 minutes du muscle *longissimus thoracis* (LT), partie centrale, au niveau de la 5ème côte. La petite surface du capteur du colorimètre (8 mm²) et la pression modifiant la structure de la viande ne permettent pas de reproduire les couleurs. Nous avons donc mis au point une méthode spécifique de prise de vue de la coupe. L'appareil photographique numérique Nikon Coolpix modèle P6000 est pré-programmé (temps exposition : 1/60 s, focale automatique, sensibilité 100 Iso, autofocus centré image, flash désactivé). Un éclairage portatif de leds blanches, montées sur support aluminium pour dissiper la chaleur et alimentées par batterie portable, a été spécifiquement conçu. Une règle de 25 cm permet de prendre les photos toujours à la même distance (figure 1). Une mire macbeth, sur un support plexiglas avec un système de punaises, est posée sur la viande. Elle permet de corriger l'image avec une procédure spécifique[1]. L'heure de l'appareil photo est synchronisée avec la montre des opérateurs ce qui permet de retrouver l'information ultérieurement. Le numéro de l'animal, le poids, la date de naissance sont relevés. Par hypothèse, on considère l'agent commercial de l'abattoir comme expert car il trie de façon courante les carcasses. On fait évaluer visuellement aux 4 experts des abattoirs retenus la couleur de la viande *in situ* selon une grille en 5 classes : trop clair (1), clair à vif (2), vif (3), vif à foncé (4), trop foncé (5).

Résultats et Discussion

Sur les 250 mesures, 190 photos ont pu être exploitées[2]. L'âge des femelles varient de 2 à 14 ans. Sur 3 des 4 experts ayant un nombre suffisants de notes, 2 ont un classement significativement corrélé aux valeurs RVB[3]. L'indice L du colorimètre est en moyenne de 37 variant de 19 à 50 et l'indice R est de 147 en moyenne variant de 102 à 207 (tableaux 1 et 2). Malgré la tendance statistique observée, il est délicat d'exploiter directement le classement des experts, car la variabilité intraclasse est trop élevée à la fois sur les indices du colorimètre Lab et sur les valeurs RVB (tableau 1 et 2). Par contre, nous obtenons une gamme de valeurs représentatives des femelles charolaises représentée sous forme de patchs de valeur R croissante (figure 2). Si l'expertise individuelle en 5 classes n'est pas fiable, on peut considérer que les experts éliminent assez facilement les couleurs extrêmes. On peut alors proposer un modèle éliminant ces extrêmes en retenant les viandes comprises dans une gamme de couleur égale à la moyenne des classes 2, 3 et 4 +/- 1 écart-type pour un « rouge acceptable » dont la valeur R est comprise entre 130 et 170 (figure 2). Il est également possible de moduler selon la sévérité du cahier des charges des différentes démarches de qualité, les bornes des 5 classes en fonction d'une évaluation visuelle par les experts. Le passage au nuancier imprimé est une opération plus délicate. Parmi les 190 valeurs R obtenues, on a choisi un échantillon de 20 de valeurs croissantes représentatives comme base du nuancier. Ces 20 nuances font l'objet d'un tirage photographique en présence de la mire macbeth pour contrôler la

[1] La mire est composée de patchs dont les composantes colorimétriques théoriques (rouge vert bleu) sont connues. En mesurant sur chaque photo la valeur réelle de chacune de ces composantes, il est possible de définir des régressions linéaires entre valeurs théoriques et valeurs réelles. Ces régressions permettent ensuite de modifier les couleurs de l'ensemble de l'image et de s'affranchir des conditions d'éclairage. Une couleur moyenne est évaluée à partir de 5 points agrégés et constituent les différentes teintes du nuancier. Chaque patch correspond à une classe homogène sur la composante rouge. Les composantes Vert et Bleu sont identiques pour tous les patchs (72,5/255).

[2] La mire n'étant pas toujours bien positionnée, le traitement n'a pas toujours été possible.

[3] Test sur la régression linéaire entre le classement de l'expert et les indices RVB : juré 1 p=0.007, juré 2 p=0.219, juré 3 p =0.001.

qualité du tirage. C'est parmi ces 20 nuances de rouge que seront choisis les patchs de référence correspondant à la grille de trop clair à trop foncé. Chez l'imprimeur, il y a 2 solutions : soit une approche empirique de mélange de couleurs à partir d'un modèle comme le tirage photographique ,impossible sur les photos de viande trop hétérogène, soit à partir des valeurs RVB converties en CMJN (cyan magenta jaune et noir, référentiel utilisé pour les imprimantes) pour un passage en quadrichromie. L'acquisition d'un nuancier Pantone pour l'imprimerie n'a pas donné satisfaction dans la gamme de rouge des viandes observées. Pour la suite, nous proposons des tests d'évaluation visuelle, les bornes de rouge acceptables seront établies par les experts à partir des photos et des patchs.

Tableau 1 : Valeurs colorimétriques CIE Lab du muscle LD de femelles charolaises selon leur classement sur la couleur par les experts

Couleurs selon les experts		1 trop clair	2 clair à vif	3 vif	4 vif à foncé	5 trop foncé	Ensemble
Nombre mesures colorimètre		8	70	73	87	12	250
Luminance	Moyenne	41	39	38	36	31	37
L	(mini-maxi)	(35-50)	(27-47)	(30-43)	(29-44)	(19-39)	(19-50)
	Ecart-type	4,6	3,1	2,5	2,7	4,6	3,4
Chrominance	Moyenne	28	29	29	28	25	28
a	(mini-maxi)	(24-32)	(19-37)	(22-39)	(17-36)	(15-32)	(15-39)
	Ecart-type	2,9	4,0	3,9	3,6	4,8	3,9
Chrominance	Moyenne	15	15	14	14	11	14
b	(mini-maxi)	(8-18)	(6-21)	(7-24)	(6-20)	(6-23)	(5-24)
	Ecart-type	3,1	3,5	3,5	3,2	5,0	3,5

Tableau 2 : Valeurs RougeVert Bleu (RVB) du muscle LD de femelles charolaises selon leur classement sur la couleur par les experts

Couleurs selon les experts		1 trop clair	2 clair à vif	3 vif	4 vif à foncé	5 trop foncé	Ensemble
Nombre de photographies retenues		5	49	55	73	8	190
Indice de rouge*	Moyenne	169	154	146	144	126	147
R	(mini-maxi)	(151-196)	(112-213)	(107-199)	(106-217)	(102-180)	(102-217)
	Ecart-type	18,0	20,8	19,7	19,0	24,6	20,8
Indice de vert*	Moyenne	87	73	70	72	66	72
V	(mini-maxi)	(71-105)	(42-111)	(25-100)	(40-99)	(53-87)	(25-111)
	Ecart-type	14,2	13	12,6	11,1	10,3	12,4
Indice de bleu*	Moyenne	76	73	72	74	67	73
B	(mini-maxi)	(69-102)	(35-118)	(51-104)	(46-113)	(57-77)	(30-119)
	Ecart-type	29,0	15	13,0	13,1	7,6	13,9

** après correction*

Figure 1 : Dispositif de prise de vue

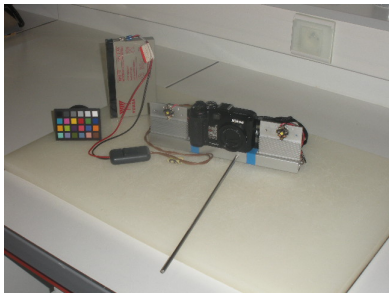
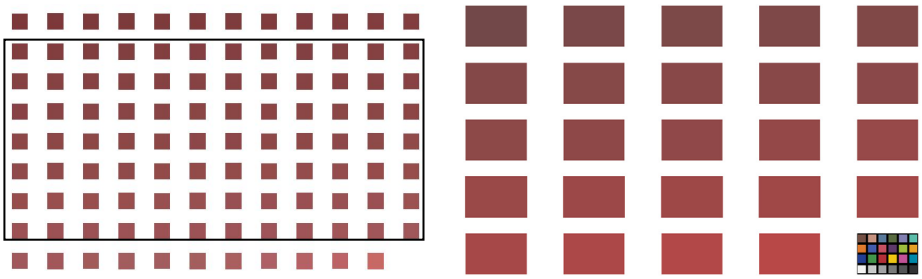


Figure 2 : Ensemble des patchs de couleur représentant la variabilité des nuances de rouge observées sur femelles charolaises – Exemple de teintes à retenir pour une démarche de qualité (zone encadrée), extrait photo de 20 nuances



Conclusions

Dans ce travail, le problème de la standardisation de la prise de vue a été résolu ce qui permet de reproduire les nuances de rouge indépendamment de la structure de la viande et du persillée. Le passage à l'imprimerie n'est encore pas complètement résolu. Le choix des couleurs pour illustrer les 5 classes est modulable selon l'évaluation visuelle sur patchs des experts.

Références bibliographiques

Denoyelle C., Jabet S., Berny F., 1997. *Viandes Prod. Carnés Vol 18(6)*, 269-274.

Remerciements

Les auteurs remercient les experts des abattoirs et l'Institut Charolais pour son soutien financier.

CARACTERISTIQUES DE FINITION ET D'ABATTAGE DE TAURILLONS ANGUS, LIMOUSINS ET BLONDS D'AQUITAINE

MICOL D., PICARD B., JURIE C., FAURE P., JAILLER R., RUDEL S., DURAND D., BAUCHART D., HOCQUETTE J.F.

INRA, UR1213, Unité de Recherches sur les Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle.

Introduction

Ce texte valorise les données du projet européen ProSafeBeef dont l'objectif est d'augmenter la qualité et la sécurité de la viande bovine et de ses produits. Une des expérimentations de ce projet s'appuie sur la finition de jeunes bovins mâles différents par leur précocité à déposer des dépôts adipeux et par leur capacité de lipogenèse. Le dispositif expérimental a mis ainsi en place des taurillons de trois races d'aptitude différente sur ce critère de précocité (Angus > Limousine > Blonde d'Aquitaine). Les résultats présentés rapportent essentiellement les caractéristiques de finition et d'abattage selon ces génotypes sans développer les effets spécifiques des régimes alimentaires expérimentaux.

Matériel et Méthodes

Le dispositif expérimental a mis en jeu 74 jeunes bovins mâles de race Aberden Angus (n = 24), Limousine (n = 25) et Blonde d'Aquitaine (n = 25). Les taurillons ont reçu, à l'Installation expérimentale de l'INRA de Theix, individuellement, durant une période de finition de 105 jours avant l'abattage une ration *ad libitum* composée de paille compressée (25%) et de concentré (75%). Les animaux ont été abattus à 16-17 mois à l'Abattoir expérimental de l'INRA de Theix. Ces animaux provenaient, au sevrage à 9 mois, des bassins de production de chacune de ces races. Ils ont été logés en cases collectives de 4, en stabulation libre sur aire paillée, avec un contrôle individuel et quotidien des quantités ingérées des différents éléments des rations. Un ajustement quotidien des aliments offerts selon les refus antérieurs a permis d'atteindre l'ingestion à volonté et de maintenir constante la composition des rations au cours de la finition. Les pesées ont été réalisées une fois par semaine. Les abattages ont été programmés dans le temps pour une même durée expérimentale. Les caractéristiques d'abattage, de rendements à l'abattage, et d'éléments du cinquième quartier ont été enregistrées. La composition corporelle a été estimée à l'abattage par la dissection de la 6ème côte et des gras internes. Les valeurs de pH ultime et de couleur (CIE Lab) du muscle *Longissimus thoracis* (LT) ont été déterminées à 24 h *post mortem.* Toutes ces données ont été traitées par analyse de variance selon la procédure GLM de SAS (1998). Les différences entre les moyennes ajustées ont été déclarées significatives à P<0,05 (PDIFF).

Résultats et Discussion

A l'issue d'une période de finition commune de 105 jours, les jeunes bovins ont été abattus à un âge de 16-17 mois, les Angus étant légèrement plus âgés (Tableau 1). Sur ce type de régime concentré distribué à volonté, les Angus ont eu un niveau d'ingestion et d'apports en énergie bien supérieurs (+ 27 %) aux deux autres génotypes. Les Blonds d' Aquitaine ont eu un niveau d'ingestion de paille légèrement plus faible (23 %), illustrant leur difficulté d'ingestion volontaire de ce fourrage grossier. Chez les Angus, pour des tranches de poids comparables, les vitesses de croissance apparentes de poids vif sont plus fortes (+ 140 g/j) et leur efficacité alimentaire, exprimée par rapport à la matière sèche ou à l'énergie ingérées est plus faible. Les Blonds d'Aquitaine atteignent l'efficacité alimentaire la plus élevée, proche de 200 g de gain par UFV en accord avec Micol et al.,(2007). Cependant les caractéristiques de finition et de croissance sont assez comparables entre les jeunes bovins Limousins et Blonds, les Angus se démarquant nettement (cf. Revue Allen et Kilkenny, 1980).

Tableau 1. Quantités ingérées et performances de croissance selon le génotype des jeunes bovins Angus (AN), Limousins (LI) et Blonds d'Aquitaine (BA) [a].

	AN	LI	BA	SEM	*P*
Age à l'abattage (mois)	16,9	16,6	16,2	0,20	NS
Paille ingérée (kg MS/j)	3,06^{a}	2,40^{b}	2,23^{b}	0,096	<.0001
Aliment concentré (kg MS/j)	9,17^{a}	7,28^{b}	7.24^{b}	0,151	<.0001
Total MS ingérée (kg/j)	12,23^{a}	9,69^{b}	9,48^{b}	0,171	<.0001
UFV ingérées /j	9,78^{a}	7,70^{b}	7,68^{b}	0,170	<.0001
Poids initial (kg)	502^{a}	490^{a}	479^{b}	6,8	<.0001
Poids final (kg)	668^{a}	637^{b}	633^{b}	8,0	<.0001
Gain de poids vif (kg/j)	1,57^{a}	1,40^{b}	1,46 ^{b}	0,057	<.0001
Efficacité alimentaire (gain de poids vif/UFV)	161^{a}	182^{b}	191^{c}	6,2	<.0001

a : Les moyennes ajustées où figure une lettre différente en exposant, sur la même ligne, sont significativement différentes (P<0,05)

Le poids vif vide reflète par rapport au poids vif à l'abattage la part du contenu digestif de l'animal (Tableau 2). Celui-ci est notablement plus élevé chez les jeunes bovins Angus (+ 34 %), en relation avec le niveau plus élevé d'ingestion volontaire. Ainsi, en moyenne relative entre génotypes, l'ingestion d'un kilo supplémentaire de la ration sèche s'est traduit par un accroissement de 8,3 kg du contenu digestif. Malgré le poids vif supérieur des Angus, leur poids de carcasse est plus faible (- 35 kg), ce que reflète leur rendement à l'abattage nettement inférieur (- 6 points). Les quantités de dépôts adipeux sont largement plus fortes, presque du simple au double chez les Angus : 20, 13 et 11 % de tissus adipeux dans la carcasse respectivement entre les trois génotypes. Ces écarts se manifestent également sur les dépôts internes. Le poids et la proportion de muscles les plus élevés sont atteints par les jeunes bovins Blonds d'Aquitaine, les Limousins étant légèrement en deçà. Compte tenu de leur moindre conformation musculaire, les Angus présentent une proportion de squelette plus importante (+ 1 point). Le pH ultime du muscle LT apparait légèrement plus élevé chez les Angus (5,6 *vs* 5,5). Son indice L de luminance est comparable entre génotypes alors que son indice de rouge (a*) est supérieur chez les Angus et Limousins par rapport aux Blonds d'Aquitaine et son indice b* plus faible chez les Angus. Chambaz et al., (2003), Cuvelier et al., (2006) et Alberti et al., (2008) rapportent des différences analogues entre types raciaux européens de bovins, principalement sur le poids de carcasse, le rendement à l'abattage, ainsi que sur les critères de conformation musculaire et la composition des carcasses.

Tableau 2. Caractéristiques d'abattage et de composition tissulaire des carcasses selon le génotype des jeunes bovins Angus (AN), Limousins (LI) et Blonds d'Aquitaine (BA)[a].

	AN	LI	BA	SEM	*P*
Poids vif vide (kg)	581[a]	577[b]	566[b]	8,1	<.0001
Contenu digestif (kg)	87[a]	62[b]	68[b]	3,7	<.0001
Poids de carcasse chaude (kg)	378[a]	401[b]	408[b]	6,3	<.0001
Rendement commercial (%) [1]	56,6[a]	62,9[b]	64,4[b]	0,50	<.0001
Poids carcasse/Longueur carcasse	2,62[a]	2,95[b]	2,92[b]	0,041	<.0001
Dépôts adipeux du 5ème quartier (kg)	22,2[a]	15,2[b]	10,7[c]	0,81	<.0001
Composition de la carcasse (%)					
- Muscles	66,4[a]	74,2[b]	75,6[c]	0, 37	<.0001
- Dépôts adipeux	19,6[a]	12,8[b]	11,1[c]	0,43	<.0001
- Os	14,0[a]	13,0[b]	13,2[b]	0,11	<.0001
pH ultime 24 h[2]	5,63[a]	5,55[b]	5,54[b]	0,02	<.0001
Couleur (CIE-Lab)[2]					
- L	36,3	35,5	37,2	0,64	NS
- a*	14,2[a]	13,9[a]	12,2[b]	0,46	<.0001
- b*	13,3[a]	14,7[a]	15,2[b]	0,63	<.0001

a : Les moyennes ajustées où figure une lettre différente en exposant, sur la même ligne, sont significativement différentes (P<0,05)

1 : rendement commercial : Poids de carcasse chaude/Poids final (%). 2 : sur le muscle *Longissimus thoracis* au niveau de la 6 ème côte.

Conclusions

Dans cette étude, les jeunes bovins mâles de trois génotypes, présents en Europe, mais différents par leur potentiel de croissance et leur précocité ont été finis au même âge dans des conditions identiques d'alimentation à volonté. Ce dispositif se traduit, entre types raciaux, par de nettes différences d'ingestion volontaire, de vitesse de croissance apparente de poids vif, de poids et surtout de composition tissulaire de la carcasse, en particulier sur la part des dépôts adipeux et la quantité de muscles. Sur un plan pratique, le génotype Angus confirme son aptitude à une finition assez courte à partir de ration de faible densité énergétique. En revanche, le génotype Blond d'Aquitaine valorise des régimes très énergétiques sur une longue période de finition en restant un producteur efficace de muscles.

Références bibliographiques

Alberti P., Panea B., Sañudo C., Olleta J.L., Ripoll J., Ertbjerg P., Christensen M., Gigli S., Failla S., Concetti S., Hocquette J.F., Jailler R., Rudel S., Renand G., Nute G., Richardson R.I., Williams J.L., 2008. Livest. Sci., 114, 19-30.
Allen D., Kilkenny B. 1980. Breeds and breeding, *in* Planned Beef Production. Granada Publishing. 57-89.
Chambaz A., Scheedre M.R.L., Kreuser M., Dufey P.A. 2003. Meat Science, 63, 491-500.
Cuvelier C., Clinquart A., Hocquette J.F., Cabaraux J.F., Dufrasne I., Istasse L., Hornick J.L. 2006. Meat Science,74, 522-531.
Micol D., Dubroeucq H., Martin C., Garcia F., Mialon M.M., Agabriel J. 2007. Renc. Rech. Ruminants, 14, 233-236.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel INRA des Installations expérimentales de l'URH-Theix, de l'Abattoir de Theix et des laboratoires de l'Unité de Recherches sur les Herbivores concernés.
Cette étude bénéficie du soutien du projet européen ProSafeBeef (7 ème PCRD) : « www.prosafebeef.eu/ ».

CARACTERISTIQUES METABOLIQUES ET CONTRACTILES DES MUSCLES DE TAURILLONS ANGUS, LIMOUSINS ET BLONDS D'AQUITAINE

JURIE C., PICARD B., MICOL D., KAMMOUN M., CHADEYRON D., HOCQUETTE JF.
URH 1213, INRA Clermont-Ferrand/Theix, 63122 Saint Genès Champanelle, France

Introduction

Les résultats présentés ici s'inscrivent dans le projet européen ProSafeBeef (www.**prosafebeef**.eu/) dont l'un des objectifs est d'améliorer la qualité et la sécurité de la viande bovine et de ses produits carnés. Le dispositif expérimental mis en place permet de décrire les propriétés contractiles et métaboliques des muscles de taurillons de trois races lesquelles varient en termes de précocité et de capacité lipogénique (Aberdeen Angus > Limousine > Blonde d'Aquitaine).

Matériels et Méthodes

Cette étude concernait 74 taurillons de race Aberdeen Angus (n = 24), Limousine (n = 25) et Blonde d'Aquitaine (n = 25). Les taurillons ont reçu, individuellement, durant une période de finition de 105 jours avant l'abattage à l'Installation expérimentale de l'INRA de Theix, une ration *ad libitum* composée de paille (25 %) et de concentré (75 %) supplémenté ou non avec de la graine de lin extrudée et avec ou sans antioxydants. Les animaux ont été abattus à 16-17 mois à l'abattoir expérimental de l'INRA/Theix, et des échantillons des muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) ont été prélevés sur la carcasse juste après l'abattage en vue des différentes mesures : (i) activités enzymatiques représentatives du métabolisme glycolytique (lactate déshydrogénase LDH) ou oxydatif (isocitrate déshydrogénase ICDH, citrate synthase CS et cytochrome-*c* oxydase COX) selon les protocoles détaillés par Jurie et al. (2006), (ii) détermination par électrophorèse de la proportion des différentes isoformes des chaînes lourdes de myosine (MyHC) responsables du type de contraction : de type lent oxydatif (I), rapide glycolytique (IIx et IIb) et rapide oxydo-glycolytique (IIa) selon la technique de Picard et al. (2007). Une analyse de variance incluant les effets race, régime, muscle et les différentes interactions a été réalisée à l'aide de la procédure GLM du logiciel SAS. De plus un effet animal a été introduit dans le modèle afin de tenir compte du fait que les 2 muscles provenaient du même animal. L'effet du régime étant non significatif pour l'ensemble des mesures effectuées, seuls les effets race, muscle, et interaction racexmuscle sont présentés.

Résultats et Discussion

Tandis que l'activité LDH, représentative du métabolisme glycolytique n'est pas significativement différente entre muscles, les activités ICDH, CS et COX, représentatives du métabolisme oxydatif, sont significativement (P <.0001) plus élevées dans le muscle LT que dans le ST (Tableau 1). Ainsi le muscle LT présente un métabolisme musculaire plus oxydatif que le ST. Ces résultats sont tout à fait en accord avec des résultats antérieurs obtenus chez des taurillons d'autres races (Jurie et al., 2005). Les muscles des taurillons Angus présentent des activités oxydatives ICDH et COX significativement plus élevées (P<.0001) et une activité glycolytique LDH plus faible (P<.0001) que ceux des Limousins et Blonds d'Aquitaine. Ainsi les muscles des Angus présentent un métabolisme musculaire plus oxydatif que ceux des Limousins, ces derniers présentant un métabolisme musculaire plus oxdatif que les Blonds d'Aquitaine, du fait en particulier d'activités oxydatives ICDH et COX significativement plus faibles pour les taurillons Blonds (Tableau 1). Les différences observées entre taurillons Angus et Limousins confortent les résultats obtenus chez des boeufs des mêmes races (Jurie et al., 2007).

Tableau 1. Activités enzymatiques (µmole min^{-1} g^{-1} muscle) des muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) et pour chacune des races de taurillons Aberdeen Angus (AA), Limousins (Li) et Blonds d'Aquitaine (BA)

	Muscle				**Race**				
	LT	ST	ECM	Effet muscle	AA	Li	BA	ECM	Effet race
LDH	934	909	11	0,11	820 [b]	961 [a]	984 [a]	17,7	<.0001
ICDH	0,95	0,64	0,028	<.0001	0,97 [a]	0,79 [b]	0,63 [c]	0,04	<.0001
CS	5,2	4,4	0,11	<.0001	5,0	4,6	4,8	0,15	0,17
COX	17,1	8,7	0,37	<.0001	16,3 [a]	12,4 [b]	10,1 [c]	0,76	<.0001

La séparation électrophorétique des différentes isoformes MyHC a révélé la présence de l'isoforme rapide MyHC IIb chez 9 taurillons parmi les 74 dont 1 taurillon Angus, 3 taurillons Limousins et 5 taurillons Blonds d'Aquitaine. Picard et Cassar-Malek (2009) ont déjà mis en évidence l'expression de cette isoforme MyHC IIb dans le muscle squelettique de certains taurillons Blonds d'Aquitaine. Sa présence a par la suite été confirmée dans d'autres races (Charolaise et

Limousine) avec une fréquence très variable dans ces trois principales races à viande française (Chaze et al., 2009). Cette étude révèle ainsi l'expression de cette isoforme également dans le muscle de taurillons Angus. Lorsqu'elle est présente, cette isoforme MyHC IIb est exprimée à la fois dans les muscles ST et LT des 9 taurillons mais dans des proportions variables, en moyenne 33 % pour le ST et 22 % pour le LT. Cette isoforme n'étant présente que sur un faible effectif d'animaux, nous avons choisi de sommer dans cette présentation les proportions des isoformes MyHC IIx et MyHC IIb afin de considérer globalement les MyHC rapides glycolytiques.
Les résultats concernant la proportion des différentes isoformes de MyHC (Figure 1) confortent ceux obtenus avec les activités enzymatiques aussi bien au niveau du muscle que de la race. En effet le muscle LT avec des activités oxydatives (ICDH, CS et COX) plus élevées que le ST présentent des proportions de MyHC I (23 %, isoforme lente oxydative) et IIa (37 %, isoforme rapide oxydo-glycolytique) plus élevées que celles du ST (8 et 24 % respectivement) (P<.0001). Inversement la proportion des isoformes rapides glycolytiques MyHC IIx + IIb est plus élevée dans le muscle ST que dans le LT (68 *vs* 40 %). De même, les muscles des taurillons Angus, avec des activités oxydatives (ICDH et COX) plus élevées, présentent des proportions de MyHC I et IIa (19 et 43 %) plus élevées que celles des taurillons Limousins (15 et 27 %) et Blonds d'Aquitaine (12 et 21 % respectivement) (P<.0001). La proportion des isoformes MyHC IIx + IIb est plus élevée dans les deux muscles des taurillons Blonds d'Aquitaine (67 %) que dans ceux des taurillons Limousins (58 %) et Angus (38 %) (P<.0001).

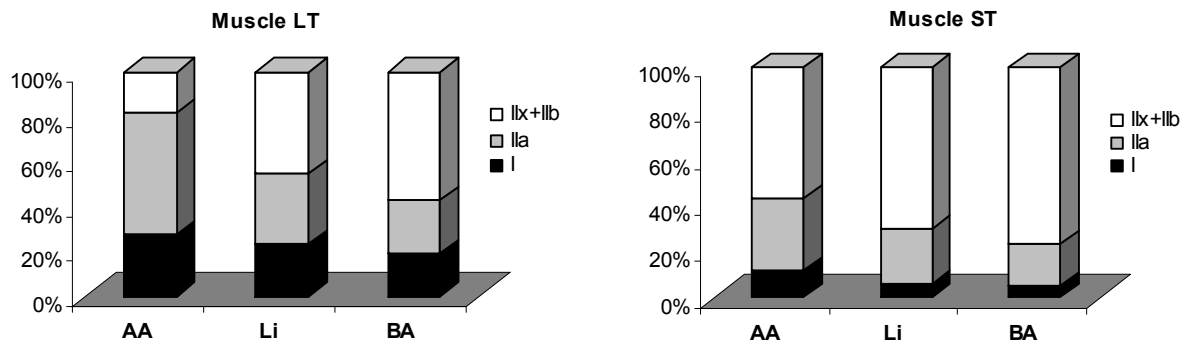


Figure 1. Proportions des différentes isoformes de chaîne lourde de myosine (MyHC) dans les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) chez les taurillons Angus (AA), Limousins (Li) et Blonds d'Aquitaine (BA)

Toutefois, nous avons observé des interactions racexmuscle significatives (P<.0001) pour les proportions des isoformes MyHC IIa et IIx+IIb (Figure 1). Ces interactions se traduisent par des différences entre muscles ST et LT plus grandes chez les taurillons Angus (23 et 39 % pour respectivement MyHC IIa et IIx+IIb) que chez les taurillons Limousins (7 et 25 %) et Blonds d'Aquitaine (6 et 20 %).

Conclusion

L'ensemble des mesures réalisées au sein de cette étude a permis de caractériser les muscles de taurillons Angus, Limousins et Blonds d'Aquitaine abattus à même âge, ces races étant différentes en termes de précocité et de capacité lipogénique. Ainsi les Angus, plus précoces et produisant une viande plus persillée que les Limousins (Jurie et al., 2007) et les Blonds d'Aquitaine, présentent des muscles à métabolisme plus oxydatif et à contraction plus lente que les Blonds d'Aquitaine, les Limousins étant intermédiaires à ces deux races. De plus, cette étude nous a permis de préciser les caractéristiques musculaires des taurillons Blonds d'Aquitaine en termes de propriétés métaboliques et contractiles pour lesquelles les études sont peu nombreuses.

Références Bibliographiques

Chaze T., Hocquette J.F., Meunier B., Renand G., Journaux L., Picard B. 2009. 16èmes Rencontres Recherches Ruminants, 151-154.
Jurie C., Martin J. F., Listrat A., Jailler R., Culioli J., Picard B., 2005, Ani. Sci., 80, 257-263.
Jurie C., Ortigues-Marty I., Picard B., Micol D., Hocquette J. F., 2006, Livestock Sci., 104, 182-192.
Jurie C., Cassar-Malek I., Bonnet M., Leroux C., Bauchart D., Boulesteix P., Pethick D. W., Hocquette J-F., 2007, J.Ani. Sci., 85, 2660-2669.
Picard B., Barboiron C., Chadeyron D., Jurie C., 2007, Cahier des techniques INRA, 62, 17-24.
Picard B. and Cassar-Malek I., 2009, Meat Sci., 82, 30-36.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel INRA des installations expérimentales de l'URH-Theix et de l'abattoir de Theix.

VERS LA MISE AU POINT D'EQUATIONS DE PREDICTION DE LA TENDRETE DE LA VIANDE BOVINE

GUILLEMIN N., JURIE C., MICOL D., RENAND G.[1], HOCQUETTE J-F., PICARD B.

UR 1213 Unité de Recherches sur les Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
[1]UMR 1313 Génétique Animale et Biologie Intégrative, 78352 Jouy-en-Josas, France

Introduction

La tendreté de la viande bovine est un critère important d'appréciation par les consommateurs. Cependant, cette qualité sensorielle présente une forte variabilité, non maîtrisée par la filière, qui est donc fortement demandeuse de tests de prédiction de cette qualité. Afin de mettre au point des tests pertinents en France, et sous l'impulsion de la filière viandes bovines, divers programmes de recherche ont été conduits. Depuis plusieurs années, ces programmes de génomique fonctionnelle ont permis d'identifier des marqueurs potentiels de la tendreté (Bernard et al., 2007, Guillemin et al., 2009a), au niveau ADN, ARN et protéines, dans divers contextes de production (races, muscles, types d'animaux). Des tests immunologiques utilisant des marqueurs protéiques, de par leur facilité d'utilisation, ont un grand intérêt pour la filière pour une application pratique au cours de la vie de l'animal et/ou à l'abattage. Pour développer de tels tests, des équations de prédiction de la tendreté à partir de l'abondance de marqueurs protéiques, doivent d'abord être mises au point.
L'objectif de notre étude est donc de mettre au point cet outil, utilisable à terme comme un test de prédiction de la tendreté, sur les muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST). Pour cela nous avons analysé la relation entre la tendreté et les abondances de 24 marqueurs protéiques potentiels de la tendreté, et établi des équations de prédiction.

Matériel et Méthodes

Nous avons utilisé les animaux du programme MUGENE (ANR GENANIMAL-APISGENE) (Hocquette et al., 2008), à savoir 67 taurillons et 44 bœufs de race Charolaise. Les taurillons ont été engraissés en système intensif à l'auge et les bœufs, castrés à 3 mois, ont été engraissés au pâturage. L'ensemble des animaux a été abattu à l'abattoir de l'INRA de Clermont-Ferrand / Theix, à 17 mois d'âge en moyenne pour les taurillons, 30 mois pour les boeufs. Les échantillons des muscles LT (entrecôte, N = 111) et ST (rond-de-gîte, N = 111), ont été prélevés dans les 10 minutes suivant l'abattage puis congelés dans l'azote liquide et stockés à -80°C jusqu'à leur analyse. Parallèlement les steaks de chacun des muscles ont été maturés à 4°C pendant 14 jours, puis congelés à -20°C. Après décongélation, ils ont été grillés à une température à coeur de 55°C, et une mesure de la force de cisaillement de chaque échantillon de viande a été réalisée à l'aide d'un appareil de Warner-Bratzler (WB).
A partir des échantillons musculaires, les protéines extraites ont été quantifiées par Dot-Blot, par la technique décrite par Guillemin et al. (2009b). Brièvement, des anticorps primaires spécifiques de chacune des 24 protéines ont été hybridés et révélés par des anticorps secondaires fluorescents, à partir de 15 µg de protéines totales de chaque échantillon. Les quantifications ont été réalisées d'après une gamme de normalisation.
L'ensemble des données disponibles (mesures WB et abondances des protéines) a été corrigé et centré pour tenir compte de l'effet année d'abattage (2003 ou 2005). Afin de calculer une équation prédictive, les régressions linéaires ont été effectuées par le module XLSTAT (version 7.5.2). Dans cette régression, les mesures WB corrigées de l'effet année ont constitué la variable dépendante à expliquer, et les abondances des 24 protéines, les variables quantitatives explicatives. Une équation a été établie pour chaque muscle. Afin d'apprécier la prédictibilité de l'équation pour chaque échantillon, la valeur absolue de la différence entre la valeur de WB prédite (Vp) par l'équation et celle mesurée (Vm) a été calculée, rapportée à la valeur mesurée, et exprimée en pourcentage (|Vp-Vm|/Vm*100). Ceci est l'erreur de la prédiction.

Résultats et discussion

Une première régression linéaire a été effectuée sur l'ensemble des échantillons de ST d'une part, et de LT d'autre part, ce qui a permis d'établir une équation pour chaque muscle à partir de l'abondance des 24 marqueurs. Le coefficient de corrélation entre les valeurs WB prédites et mesurées est de +0,61 et +0,48 pour le ST et le LT respectivement. L'écart entre la note de WB prédite et mesurée est en moyenne de 116,8 % pour le ST, et 158,8 % pour le LT. Cela signifie que ces équations ne peuvent pas être utilisées de manière satisfaisante pour un test de prédiction de la tendreté.
Cependant, un examen des différences entre valeur prédite et valeur mesurée pour chaque échantillon sur l'ensemble de la population, montre que cette différence n'est pas homogène et dépend des échantillons, pour les deux muscles ST et LT. Ainsi, sur les 111 échantillons de chaque muscle, 70 pour le ST (soit 66 %) et 59 (soit 53 %) pour le LT, présentent une erreur de prédiction inférieure à 100 %. Ceci montre qu'à partir de ces 24 marqueurs, nous sommes en mesure de prédire la mesure de WB sur environ deux tiers de la population. Aussi, dans un deuxième temps, nous avons considéré

ces échantillons qualifiés de « prédictibles » pour affiner la prédiction à partir de l'abondance des 24 marqueurs. Ces échantillons présentent des valeurs WB mesurées très diverses. Dans ces conditions, le coefficient de corrélation entre les valeurs WB prédites et mesurées est de +0,87 et +0,82 pour le ST et le LT respectivement. Les protéines les plus explicatives de la tendreté et leurs cœfficients respectifs dans l'équation, sont présentées dans le Tableau 1.
En termes de marqueurs, sur le muscle ST, la première équation sur l'ensemble des échantillons (N = 111) montre que PRDX6 (Peroxiredoxine 6) et LDHB (lactate déshydrogénase B) sont les variables les plus explicatives de la note de WB. Ces deux protéines sont retrouvées dans la seconde équation sur le groupe d'échantillons « prédictibles » (N = 70), ce qui montre leur robustesse dans l'estimation. Cette deuxième équation montre en outre que deux autres protéines sont importantes, Hsp27 (Heat Schok Protein) et MyHC (Myosin Heavy chain) II (IIa + IIx). Dans le muscle LT, la première équation montre l'importance de PRDX6. La seconde confirme l'importance de PRDX6, et révèle d'autres protéines (Tableau 1).
Ces équations prédictives montrent que PRDX6 est le seul marqueur commun aux 2 muscles, explicatif de la valeur de WB. Ce résultat est concordant avec l'étude de Jia et al. (2009), qui identifie PRDX6 comme un marqueur de tendreté pertinent dans le muscle LT, mais avec une relation inverse. Cette enzyme est impliquée dans la lutte contre le stress oxydant, comme les protéines Hsp27, Hsp20, CRYAB, Hsp40 et DJ-1. Cela montre que le stress oxydant joue un rôle important dans la prédiction de la tendreté. Les protéines contractiles, MyHC I, MyHC II et MyBP-H (Myosin Binding Protein H), apportent une contribution non négligeable aux équations. Enfin, LDHB, enzyme glycolytique, est fortement impliquée dans l'équation du muscle glycolytique ST.

Equations du muscle ST					
1ère équation			2ème équation		
Protéine	Coeffcient	P-value	Protéine	Coeffcient	P-value
PRDX6	**1,73**	**0,006**	**PRDX6**	**2,88**	**< 0.0001**
LDHB	**-1,23**	**0,032**	**Hsp27**	**-1,27**	**0,015**
M-Calpaïne	1,43	0,169	**LDHB**	**-1,27**	**0,038**
Hsp70-1B	0,97	0,180	**Myosine II**	**-2,55**	**0,045**
u_Calpaïne	-1,01	0,274	*u_Calpaïne*	*-1,61*	*0,096*
Hsp40	-0,87	0,301	MyBP-H	0,56	0,151
Myosine II	-0,95	0,319	MLC-1F	-0,77	0,183
CRYAB	-0,55	0,341	Myosine IIX	0,33	0,195
Eno1	0,72	0,362	Eno1	1,20	0,201

Equations du muscle LT					
1ère équation			2ème équation		
Protéine	Coefficient	P-value	Protéine	Coefficient	P-value
PRDX6	**1,26**	**0,031**	**MyBP-H**	**0,93**	**0,002**
Hsp20	*0,66*	*0,064*	**PRDX6**	**1,91**	**0,015**
CRYAB	*-0,45*	*0,067*	**Myosine I**	**1,67**	**0,022**
MyBP-H	0,37	0,109	**Hsp40**	**-1,89**	**0,030**
CapZ-β	-0,73	0,222	**DJ-1**	**2,63**	**0,041**
DJ-1	0,95	0,237	*CRYAB*	*-0,62*	*0,061*
MLC-1F	0,51	0,296	*Hsp20*	*1,13*	*0,067*
M_Calpaïne	-0,81	0,297	*Desmine*	*-1,12*	*0,068*
Hsp40	-0,63	0,303	*MLC-1F*	*1,22*	*0,084*

Tableau 1 : Paramètres des équations mises au point pour les muscles ST et LT.
Les protéines apportant une contribution significative à l'équation sont indiquées en gras, et avec une tendance en italique. Les 24 marqueurs ne sont pas tous indiqués pour une meilleure lisibilité.

D'autre part, la comparaison des échantillons dits « prédictibles » dans chacun des deux muscles montre que 70% de ceux-ci sont appariés, c'est à dire provenant du même animal. Ceci indique que ce caractère (« prédictible » / « imprédictible ») dépend de l'individu et du muscle. Pour les échantillons dits « imprédictibles », aucune équation basée sur ces 24 marqueurs n'est satisfaisante. Leur tendreté doit répondre à des mécanismes ou caractéristiques musculaires différents des échantillons dits « prédictibles » qui font l'objet d'analyses complémentaires.

Conclusion

Ce travail montre qu'à partir de l'abondance des 24 protéines nous sommes en mesure de prédire la tendreté d'environ 60 % des échantillons analysés pour chacun des muscles ST et LT. Nous confirmons ainsi le rôle important de certaines protéines dans la tendreté, et leur pertinence dans l'utilisation à terme pour un test pratique. Des analyses plus spécifiques sur le groupe d'échantillons dits « non prédictibles » sont en cours. D'autre part, d'autres approches mathématiques sont actuellement développées à partir des mêmes données afin d'établir une équation prédictive uniquement sur la base des protéines les plus explicatives de la tendreté.

Références bibliographiques

Bernard, C., Cassar-Malek, I., LeCunff, M., Dubroeucq, H., Renand, G., Hocquette, J. F., 2007. J. Agric. Food Chem., 55, 5229-5237.
Guillemin, N., Cassar-Malek, I., Hocquette, J. F., Jurie, C., Micol, D., Listrat, A., Levéziel, H., Renand, G., Picard, B., 2009a. INRA Prod. Anim., 22, 331-344.
Guillemin, N., Meunier, B., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Hocquette, J. F., Levéziel, H., Picard, B., 2009b. J. Physiol. Pharmacol., 60, 91-97.
Hocquette, J. F., Laville, E., Bernard, C., Picard, B., Cassar-Malek, I., Sayd, T., Lepetit, J., Jurie, C., Meunier, B., Micol, D., Levéziel, H., Renand, G., 2008. 12èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologies de la viande, Tours
Jia, X., Veiseth-Kent, E., Grove, H., Kuziora, P., Aass, L., Hildrum, K. I., Hollung, K., 2009. J. Anim. Sci., 2391-2399.

Remerciements

Les auteurs remercient les Unités Expérimentales de Bourges et du Pin au Haras pour la fourniture des animaux de l'étude, l'Abattoir expérimental de Theix pour leur abattage et les prélèvements de muscles, Christiane Barboiron pour les extractions de protéines, et Jacques Lepetit† pour les mesures de WB.

MARQUEURS BIOLOGIQUES DE LA TENDRETE DE LA VIANDE BOVINE DANS LES RACES ANGUS, LIMOUSINE ET BLONDE D'AQUITAINE

PICARD B., KAMMOUN M., JURIE C., MICOL D., BARBOIRON C., HOCQUETTE JF., CASSAR-MALEK I.
URH 1213, INRA Clermont-Ferrand/Theix, 63122 Saint Genès Champanelle, France

Introduction

La tendreté de la viande bovine souffre d'une variabilité forte et non maîtrisée. De plus, à l'heure actuelle cette qualité n'est mesurable qu'après l'abattage de l'animal par analyse sensorielle ou par mesures mécaniques. Aussi, depuis plusieurs années des analyses de génomique sur des lots extrêmes en tendreté ont été entreprises afin de mettre en évidence des marqueurs de tendreté au niveau protéines, transcrits ou gènes (Hocquette et al., 2009 ; Guillemin et al., 2009a). Une liste de ces marqueurs a ainsi été établie (Picard et al., 2010). L'objectif de cette étude conduite dans le cadre du programme européen ProSafeBeef (www.**prosafebeef**.eu/), est de vérifier la relation entre l'abondance et/ou l'expression de 12 de ces marqueurs et la tendreté de la viande. Cette étude a été réalisée sur deux muscles *Longissimus thoracis* (LT) et *Semitendinosus* (ST) de taurillons des races Angus, Limousine et Blonde d'Aquitaine.

Matériels et Méthodes

Cette étude concernait 74 taurillons de race Aberdeen Angus (n = 24), Limousine (n = 25) et Blonde d'Aquitaine (n = 25). Les taurillons ont reçu, individuellement, durant une période de finition de 105 jours avant l'abattage à l'Installation expérimentale de l'INRA de Theix, une ration *ad libitum* composée de paille (25%) et de concentré (75%) supplémenté ou non avec de la graine de lin extrudée et avec ou sans antioxydants. Les animaux ont été abattus à 16-17 mois à l'abattoir expérimental de l'INRA/Theix, et des échantillons des muscles LT et ST ont été prélevés sur la carcasse juste après l'abattage congelés dans l'azote liquide et stockés à -80°C jusqu'aux analyses. Sur ces échantillons l'abondance des protéines de la famille des Heat Shock Proteins, Hsp40, Hsp27, Hsp70-1B, Hsp70-8, et αB crystalline ; des protéines contractiles isoforme de chaînes légères de myosine MCL-1F (rapide) et de chaînes lourdes MyHC I (lente oxydative), MyHC IIx (rapide glycolytique) et MyHC II (rapides IIa+IIx) ; de structure α actine et Cap-Zβ ; du stress oxydant Super Oxyde Dismutase (SOD1), Peroxyredoxine (PRDX6) et DJ-1 et la protéase calcium dépendante μ calpaïne, a été estimée par la technique de Dot-Blot selon le protocole décrit par Guillemin et al. (2009b) sur ces deux muscles. De plus, l'expression du gène DNAJA1 codant la protéine Hsp40, a été mesurée par PCR quantitative sur le muscle LT uniquement. Ce gène selon les résultats de Bernard et al. (2007) a été révélé comme marqueur négatif de la tendreté de la viande en race Charolaise. Les abondances ou expression, des marqueurs mesurés ont été corrélées à la tendreté de la viande par une analyse de corrélation de Spearman à l'aide de la procédure Proc CORR de SAS. Pour le muscle LT nous disposions de deux types de mesures de tendreté : sensorielle (note de jury d'analyse sensorielle) et mécanique (test de cisaillement Warner-Bratzler : WB qui donne une mesure de dureté), alors que pour le muscle ST seule la note d'analyse sensorielle était disponible.

Résultats et Discussion

Les données d'analyse sensorielle montrent que conformément à la bibliographie, le muscle LT est plus tendre que le ST (4,9 vs 4,6, P<0,001). Toutefois, aucun effet significatif de la race et du régime n'a été observé dans aucun des deux muscles. Toutes races confondues, dans le muscle LT nous révélons trois protéines dont l'abondance est corrélée négativement à la tendreté de la viande estimé par analyse sensorielle (P<0,05). Ces protéines sont : les Hsp 70-1B (r=-0,2) et 70-8 (-0,25) ainsi que la MyHC IIx (-0,26). Les deux Hsp 70 sont également corrélées positivement avec la mesure mécanique WB. Ainsi, les muscles LT (noix d'entrecôte) les plus tendres sont ceux où l'abondance des Hsp 70-1B et 70-8, est la plus faible. Ces deux protéines ont un rôle cytoprotecteur et sont impliquées dans le phénomène d'apoptose (mort cellulaire programmée). Dans le muscle ST nous retrouvons une corrélation négative entre Hsp 70-1B et la tendreté sensorielle (- 0,24, P<0,05). Deux autres protéines : α actine et MLC-1F (isoforme de chaîne légère de myosine) sont corrélées positivement à la tendreté (0,22 et 0,23 respectivement). Ainsi, les muscle ST (rond de gîte) les plus tendres renferment le moins de Hsp 70-1B et le plus de MLC-1F et α actine. Plusieurs auteurs ont retrouvé une relation positive entre l' α actine et la tendreté qui paraît donc constituer un bon marqueur biologique de la tendreté (Chaze et al., 2009 ; Picard et al., 2010). Dans cette analyse l'expression du gène DNAJA1 n'est pas corrélée à la note de tendreté.

Le même type d'analyse fait pour chacune des trois races indépendamment montre des relations entre marqueurs et tendreté différentes selon la race (Tableau 1). Pour ce qui est de la tendreté mesurée par analyse sensorielle, pour la race Angus, nous ne trouvons aucune corrélation entre l'abondance des protéines et la tendreté pour les deux muscles ST et LT. Ceci démontre que dans cette race qui se distingue des deux autres par des propriétés plus lentes oxydatives de ses muscles (voir Jurie et al., JSMTV 2010), la tendreté serait expliquée par d'autres caractéristiques. Dans les deux autres races, nous observons un nombre plus élevé de corrélations pour le ST que le LT. Dans le ST en race Limousine 3 protéines sont corrélées positivement à la tendreté : l'α actine, l'isoforme MLC1-F et les isoformes de chaînes lourdes de myosine rapides (MyHC II). En race Blonde d'Aquitaine, seule la protéine Hsp 70-1B est corrélée négativement à la tendreté. Le fait que plus de protéines explicatives de la tendreté soient mises en évidence dans le muscle ST comparativement au LT est en accord avec d'autres données de l'équipe. En effet, la tendreté de l'entrecôte semble

avoir une origine différente de celle du rond de gîte. Etant donné que le LT renferme des teneurs en collagène plus faible que le ST et au contraire des teneurs en lipides intramusculaires plus élevées, on peut supposer que ces caractéristiques jouent un rôle important dans la tendreté expliquant les différences de corrélations retrouvées dans les deux muscles. Concernant le muscle LT, pour lequel nous disposions des données de tendreté mécanique et sensorielle, nous observons un nombre plus élevé de protéines corrélées avec la mesure de Warner-Bratzler qu'avec la note sensorielle (Tableau 1). Comme pour l'analyse sensorielle, en race Angus peu de corrélations sont mises en évidence. Seule l'abondance de la protéine SOD1 est corrélée positivement avec la mesure de WB, donc négativement avec la tendreté. C'est en race Blonde d'Aquitaine que le plus de corrélations sont observées avec 4 protéines corrélées négativement à la note de WB : Hsp 40, α actine, MLC1-F, PRDX6. En race Limousine, 2 protéines sont corrélées positivement à la note de WB : Hsp40 et Hsp70-8. Le transcrit DNAJA1 est retrouvé corrélée à la note de WB uniquement dans le muscle LT des Angus, mais de manière inverse aux résultats de Bernard et al. (2007) en race Charolaise.

	Angus			**Blonde d'Aquitaine**			**Limousine**		
	LT		**ST**	**LT**		**ST**	**LT**		**ST**
	AS	**WB**	**AS**	**AS**	**WB**	**AS**	**AS**	**WB**	**AS**
αB-crystalline				**- 0,37**					
Hsp40					**- 0,38**			**+ 0,44**	
Hsp70-8								**+ 0,40**	
α-actine					**- 0,60**				**+ 0,55**
MLC-1F					**- 0,36**				**+ 0,40**
MyHC II									**+ 0,38**
SOD1		**+ 0,39**							
PRDX6					**- 0,41**				
DNAJA1 ARNm		**- 0,36**							

Tableau 1 : Corrélations entre l'abondance des marqueurs et la tendreté des muscles LT mesurée mécaniquement (Warner-Bratzler : WB) ou par un jury d'analyse sensorielle (AS) après cuisson à 55°C à cœur.

Conclusion

Ces résultats confirment un rôle important des protéines de la famille des Hsp dans la tendreté qui corrobore l'hypothèse de Ouali et al. (2006) selon laquelle l'apoptose mécanisme biologique où ces protéines sont impliquées, serait une des premières étapes clé de la transformation du muscle en viande. Ils valident une relation positive entre le type lent et la tendreté et au contraire une relation négative entre type rapide et tendreté dans le muscle LT. Ils mettent en évidence, en accord avec d'autres données de notre équipe (Picard et al., 2010) un rôle important des protéines impliquées dans le stress oxydant (SOD1, PRDX6). Cette relation originale entre stress oxydant et tendreté demande à être étudiée de manière plus approfondie. Enfin, ces résultats illustrent des spécificités des races dans l'explication de la tendreté comme déjà démontré par Bouley et al. (2006) et Chaze et al. (2009). Malgré la complexité et l'origine multifactorielle de la tendreté, notre but est de retenir les marqueurs les plus pertinents dans différents contextes (race, type de production…) pour les utiliser dans un test immunologique permettant d'estimer le potentiel tendreté d'un animal ou d'un morceau de viande.

Références Bibliographiques

Bernard, C., Cassar-Malek, I., LeCunff, M., Dubroeucq, H., Renand, G., Hocquette, J. F., 2007. J. Agric. Food Chem., 55, 5229-5237.

Bouley J., Meunier B., Culioli J., Picard B., 2004. 11ème Rencontres Recherches Ruminants, 11, 87-89.

Chaze T., Hocquette J.F., Meunier B., Renand G., Journaux L., Picard B. 2009. 16èmes Renc. Rech.Ruminants 16, 151-154.

Guillemin, N., Cassar-Malek, I., Hocquette, J. F., Jurie, C., Micol, D., Listrat, A., Levéziel, H., Renand, G., Picard, B., 2009a. INRA Prod. Anim., 22, 331-344.

Guillemin, N., Meunier, B., Jurie, C., Cassar-Malek, I., Hocquette, J. F., Levéziel, H., Picard, B., 2009b. J. Physiol. Pharmacol., 60, 91-97.

Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Bernard-Capel C., Picard B. 2009, Animal Science Papers and Reports 27, 273-280

Picard B., Berri C., Lefaucheur L., Molette C., Sayd T., Terlouw C., 2010. Briefings in Functional Genomics Advance Access, in press.

Ouali A., Herrera-Mendez C. H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M. A., 2006. Meat Sci., 74, 44-58.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel INRA des installations expérimentales de l'URH-Theix et de l'abattoir de Theix.

CARACTERISTIQUES METABOLIQUES ET CONTRACTILES COMPAREES DES MUSCLES *LONGISSIMUS THORACIS* ET *SEMITENDINOSUS* DE BOVINS

CHRIKI S.[1,2], PICARD B.[1], JURIE C.[1], REICHSTADT M.[1], MICOL D.[1], BRUN J.P.[1], JOURNAUX L.[2], HOCQUETTE J.F.[1]

[1]INRA UR1213, 63122 Saint Genès Champanelle ; [2]UNCEIA, 75595 Paris Cedex 12.

Introduction

Dans le cadre du programme européen « *ProSafeBeef » (*www.**prosafebeef**.eu/), un projet de mise en place d'un modèle prédictif (standardisé et reproductif) des qualités de la viande bovine est en développement. Ce travail rejoint un ensemble de travaux de modélisation initiés dans plusieurs pays (Australie, USA, Norvège) utilisant des bases de données. L'élaboration de ce modèle s'appuie sur une base de données, BIF-Beef (Biologie Intégrative et Fonctionnelle de la viande bovine), qui regroupe des mesures allant de l'animal, la carcasse, le muscle et la viande pour plusieurs programmes de recherches (Meurice et al., 2008). A partir de cette base volumineuse tant par le nombre que la nature des mesures, des jeux spécifiques de données peuvent être extraits, analysés et interprétés afin de répondre à une question donnée. Par exemple, nos travaux et certaines données de la bibliographie, ont montré que les deux muscles *Longissimus thoracis* (LT : entrecôte) et *Semitendinosus (*ST : rond de gîte) présentent des propriétés contractiles et métaboliques différentes. Il est généralement admis que le ST est de type plus rapide et glycolytique que le LT (Schreurs et al., 2008). Toutefois, il semblerait que cette différence ne soit pas toujours observée. L'objectif de cette étude a donc été de vérifier à partir des nombreuses données disponibles sur ces deux muscles dans la base Bif-Beef, si les écarts entre ces deux muscles sont les mêmes quel que soit le type d'animal (sexe et type racial).

Matériel et méthodes

La base de données BIF-Beef, sur laquelle repose cette étude, rassemble des données issues de 37 expérimentations avec 294 717 données qui renseignent 667 variables. Elles proviennent d'animaux âgés de 1 à 120 mois (12 ans) sur des mâles entiers, des mâles castrés et des femelles de 20 types raciaux bovins.
Les caractéristiques métaboliques des muscles étudiés ont été déterminées par l'activité enzymatique de la LDH (Lactate Déshydrogénase) caractérisant le métabolisme glycolytique et de l'ICDH (Isocitrate Déshydrogénase) caractérisant le métabolisme oxydatif. Ces activités on été mesurées par spectrophotométrie selon les méthodes exposées par Jurie et al., (2006). Les méthodes histochimiques, décrites par Picard et al., (1998), ont permis de déterminer les proportions de fibres musculaires différenciées sur leurs propriétés contractiles et métaboliques. Selon cette technique trois principaux types de fibres sont distingués dans le muscle bovin adulte : SO (slow oxidative), FOG (fast oxido-glycolytic) et FG (fast glycolytic).
L'extraction à partir de la base Bif-Beef de ces caractéristiques pour les deux muscles LT et ST a permis de constituer un fichier de données issues de 7 (pour ICDH et LDH) et 6 (pour les types de fibres) races différentes.
L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel SAS. Deux analyses de variances ont été effectuées avec la procédure PROC GLM, la première, relative au sexe, incluant les effets « sexe, muscle » et l'interaction « sexe × muscle », la seconde, relative au type racial, incluant les effets « race, muscle » et l'interaction « race × muscle». Pour les deux analyses, un effet animal a été introduit afin de tenir compte du fait que les 2 muscles provenaient du même animal.

Résultats et discussion

Toutes races confondues, l'analyse par sexe, (Figure 1), confirme que le muscle LT est plus oxydatif que le muscle ST chez les mâles et les femelles. En effet, le LT présente une activité ICDH (caractérisant le métabolisme oxydatif) plus élevée et une activité LDH (caractérisant le métabolisme glycolytique) plus faible que le ST. En revanche, ceci n'est pas observé chez les mâles castrés qui présentent une activité LDH plus élevée dans le LT que dans le ST alors qu'ils ne présentent aucune différence au niveau de l'activité ICDH. Cette particularité des bœufs peut s'expliquer par le fait que le ST est plus sensible aux androgènes que le LT (Brandstetter et al., 1998 ; et Schreurs et al., 2008).
Par ailleurs, le LT présente une activité plus oxydative et moins glycolytique chez toutes les races étudiées à l'exception des Montbéliardes, race pour laquelle le LT est moins oxydatif et plus glycolytique que le ST. Ceci est en accord avec les travaux en race Montbéliarde de Picard et al., (1995), Brandstetter et al., (1998) et Hocquette et al., (1997) qui montrent que le ST est plus oxydatif et moins glycolytique que le LT.

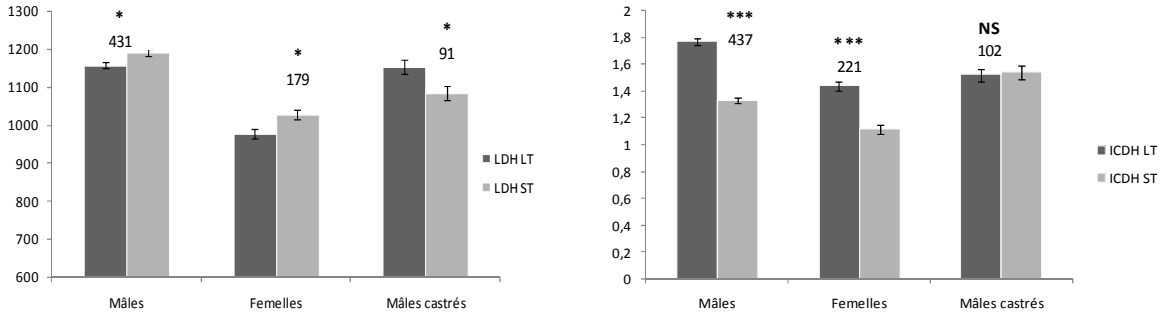


Figure 1 : Activités lactate déshydrogénase (LDH) et isocitrate déshydrogénase (ICDH) (µmole/min/g) dans les muscles LT (noir) et ST (gris) de bovins mâles entiers, femelles et mâles castrés (les effectifs sont indiqués au dessus des histogrammes).

Dans notre étude, le muscle LT présente plus de SO et moins de FOG et de FG que le muscle ST quel que soit le sexe (taurillon, bœuf, femelle). Ceci est vrai chez toutes les races étudiées en dehors des Montbéliards et Holsteins. Chez ces races laitières, le ST a les mêmes proportions de fibres FG (Figure 2) et de fibres FOG que le LT ce qui est en accord avec les données de Schreurs et al., (2008).

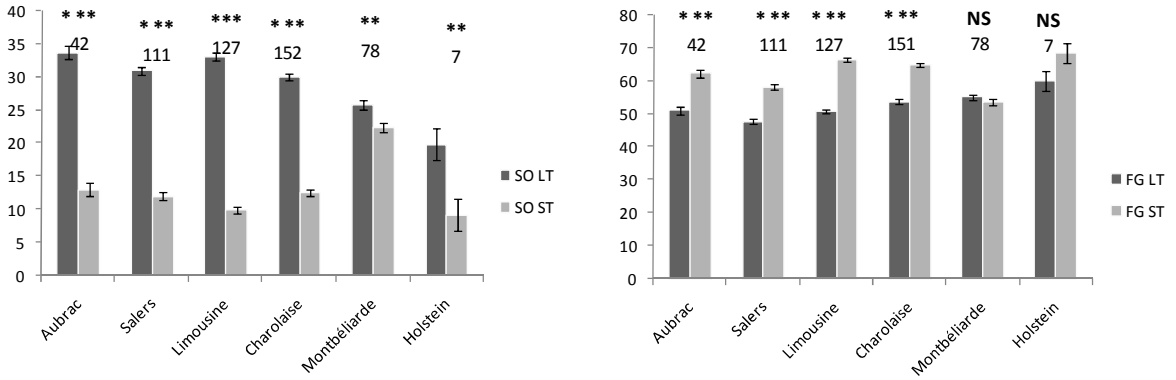


Figure 2 : Proportions (%) en fibres lentes oxydatives (SO) et rapides glycolytiques (FG) dans les muscles LT (noir) et ST (gris) de bovins de différentes races (les effectifs sont indiqués au dessus des histogrammes).

Conclusion

A partir des données sur les deux muscles ST et LT issues de la base BIF-Beef, nous pouvons conclure que le ST est de type plus rapide glycolytique que le LT chez les mâles entiers et les femelles mais pas chez les mâles castrés. D'autre part, les races laitières comparativement aux races allaitantes, présentent des différences moins marquées entre ces deux muscles qui sont inversées en race Montbéliarde. L'orientation des fibres musculaires vers le type lent-oxydatif (SO) est favorable à la fois à une teneur plus élevée en lipides intramusculaires (revue de Hocquette et al., 2010) et une tendreté plus élevée alors qu'une proportion élevée de fibres rapides-glycolytiques (FG) favorise la maturation de la viande (Dransfield et al., 2003).

Cette étude illustre que le volume important des données permet d'envisager une puissance statistique élevée des analyses, notamment pour des approches multi factorielles et l'établissement de lois de réponse.

Références

Brandstetter A.M., Picard B, Geay Y., 1998. Livest. Prod. Sci., 53, 25-36.

Dransfield E., Martin J. F., Bauchart D., Abouelkaram S., Lepetit J., Culioli J., Jurie C., Picard B., 2003. Anim. Sci., 76, 387-399.

Hocquette J.F., Castiglia-Delavaud C., Graulet B., Ferré P., Picard B., Vermorel M., 1997. Brit. J. Nutr., 78, 251-271.

Hocquette J.F., Gondret F., Baeza E., Medale F., Jurie C., Pethick D.W., 2010. Animal, 4, 303-319.

Jurie C., Ortigues-Marty I., Picard B., Micol D., Hocquette J. F., 2006. Livest. Sci., 104, 182-192.

Meurice P., Brun J.P., Jurie C., Renand G., Nute G.R., Picard B., Hocquette J.F., 2008. Viandes Prod. Carnés, Numéro Hors Série, 153-154.

Picard B., Gagnière H., Geay Y., Hocquette J.F., Robelin J., 1995, Reprod. Nutr. Dev., 35, 71-84.

Picard B., Duris M.P., Jurie C., 1998. Histochem. J., 30, 473-479.

Schreurs N.M., Garcia F., Jurie C., Agabriel J., Micol D., Bauchart D., Listrat A., Picard B., 2008. J. Anim., 86, 2872-2887.

REPONSES TRANCRIPTOMIQUE ET METABOLOMIQUE DU MUSCLE SQUELETTIQUE AU STRESS CHEZ LE RAT

CASSAR-MALEK[1] I., DE LA FOYE[1] A., PICARD[1] B., GENTES[1] G., TERLOUW[1] C., FERNANDEZ[2] X.

[1]INRA, UR1213- Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France
[2]INRA, UMR 1289 TANDEM, 31326 Castanet Tolosan, France

Introduction

Le stress *ante mortem* est reconnu pour altérer les qualités des viandes (Terlouw et al., 2007). Les mécanismes par lesquels les réponses de stress à l'abattage influencent les qualités des viandes ne sont que partiellement connus. Nous avons conduit une étude utilisant les outils « omiques », afin de réaliser une caractérisation globale des réponses du muscle au stress. Cette étude conduite chez une espèce modèle, le rat, visait à caractériser les réponses à deux types de stress : « émotionnel » et « émotionnel et physique simultanément».

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 44 rats Wistar mâles. Pour l'analyse de la réponse au stress « émotionnel », 16 rats expérimentaux ont été immobilisés dans une gaine en résine et suspendus pendant 10 min (n=8) ou 30 min (n=8). Pour l'étude de la réponse au stress « émotionnel et physique », 16 rats ont été soumis à un test combinant un changement d'environnement et une activité physique (exercice séquentiel sur tapis roulant : 1 min de course – 4 min de repos, répété une fois (10 min) ou 5 fois (30 min)). Douze rats non stressés ont servi de témoins.
A l'issue de l'exposition au stress, les rats ont été sacrifiés par décapitation. Un prélèvement de sang a été réalisé pour le dosage de la corticostérone plasmatique. Les muscles de la cuisse ont été immédiatement disséqués et congelés puis broyés dans l'azote liquide et homogénéisés en poudre en vue des analyses.
Une analyse du transcriptome musculaire a été réalisée, dans un premier temps, chez les rats soumis au stress émotionnel *vs* leurs témoins. Les ARNs musculaires totaux ont été rétrotranscrits, marqués par les cyanines 3 et 5, et hybridés sur des puces oligonucléotidiques pangénomiques comportant le set OPERON de rat (plateforme Biopuces de Toulouse) dans une station automatique à la Plate-Forme d'Exploration du Métabolisme de Theix. Le plan d'hybridation était un dye-switch comportant 8 rats témoins, 8 rats stressés pendant 10 min et 8 rats stressés pendant 30 min. Une lame (2 échantillons) a été supprimée de l'analyse pour des raisons techniques. Des modèles linéaires avec modération bayésienne de la statistique de test par la prise en compte de l'ensemble des gènes ont été réalisés, à l'aide de la librairie Limma du logiciel R, pour l'évaluation des effets du stress à 10 min et 30 min sur l'expression des gènes. Les probabilités associées à ces effets ont ensuite été corrigées à l'aide de la méthode de Benjamini-Hochberg (BH).
Une analyse métabolomique ciblée a été réalisée sur l'ensemble des rats selon la méthode basée sur un couplage LC-MS/MS, développée par la plateforme « Métatoul » et décrite pour le muscle squelettique par El Rammouz et al. (2010). Cette analyse concerne les métabolites de quatre principales familles : les hexoses phosphate, les acides organiques phosphate, les acides organiques du cycle de Krebs et les nucléotides.

Résultats

1- Réponse hormonale

Après 10 min de test, la corticostéronémie était significativement augmentée par rapport aux animaux témoins (~ 280 ng/ml chez les témoins), mais de façon identique dans les deux types de stress (~ 380 ng/ml). Après 30 min de test, les taux étaient significativement plus élevés dans le cas du stress émotionnel, comparé aux stress émotionnel et physique (540 *vs* 420 ng/ml, respectivement).

2- Réponse transcriptomique

L'analyse statistique n'a permis de détecter qu'un seul gène (BH 10%) dont l'expression était significativement modifiée après 10 min de stress émotionnel. L'oligonucléotide correspondant à ce gène sur la puce a fait l'objet d'une recherche dans les bases de données (blast), toutefois le gène correspondant n'a pu être identifié.
Après 30 min de stress, des changements modérés d'expression étaient mis en évidence (BH 10%) pour 14 gènes (Tableau 1). Cette liste de gènes ne comportait aucun facteur de transcription. Le dernier gène non annoté (Tableau 1) pourrait coder la sulfide quinone reductase-like, une enzyme mitochondriale impliquée dans les mécanismes d'oxydo-réduction.

Symbole	Nom du Gene	Fonction	Ratio
Ifi30	interferon gamma inducible protein 30	Chemokine CXC	1,44
LDH-A	L-lactate dehydrogenase A chain	Métabolisme glycolytique	1,31
Trim36	tripartite motif-containing 36	E3 ubiquitin-protein ligase	1,36
Hfm1	HFM1, ATP-dependent DNA helicase homolog (S. cerevisiae)	Maintenance du génome	1,23
Fbxl8	F-box and leucine-rich repeat protein 8	Sous-unité du complexe ubiquitin protein ligase	1,30
Hao2	hydroxyacid oxidase 2 (long chain)	Métabolism du glyoxylate et du dicarboxylate	1,24
RGD1564184	similar to monoclonal antibody 17-1A, light chain	-	1,37
Kcnk15	potassium channel, subfamily K, member 15	Canal Potassium	1,22
Tpi1	triosephosphate isomerase 1	Glycolytic metabolism	1,20
Lrp2	low density lipoprotein-related protein 2	Réponse au stress	1,44
LOC290704	similar to palladin	Organization du cytosquelette	1,36
RGD1563574	similar to Hypothetical protein MGC30332	Protéine transmembranaire 149	1,33
Traf3ip2	Traf3 interacting protein 2	Réponse aux cytokines	1,26
Rn30000127	-	-	1,44

Tableau 1. Transcrits musculaires différentiels après 30 min d'exposition au stress émotionnel (ratio d'expression par rapport au témoin).

3- Réponse métabolomique

Les réponses métaboliques aux tests étaient modérées (figure 1). Les variations d'abondance ne dépassaient pas 2 (correspondant à un doublement de la concentration), et restaient inférieures à 0,5 (correspondant à une division par 2 de la concentration). Les concentrations de trois hexoses phosphate, le glucose-6-P (G6P), le fructose-6-P (F6P) et le mannose-6-P (M6P), diminuaient significativement en réponse aux deux tests de stress, traduisant une activation de la voie glycolytique. Les effets, d'amplitude plus élevée dans le cas du stress émotionnel, s'accentuaient avec l'allongement du test. L'abondance de certains acides du cycle de Krebs (fumarate, malate et α-cétoglutarate (AKG)) diminuait en réponse au stress émotionnel, en particulier après 30 min de test. Les réponses au stress émotionnel et physique étaient moins prononcées avec des effets, significatifs mais de faible amplitude, sur les nucléotides phosphate.

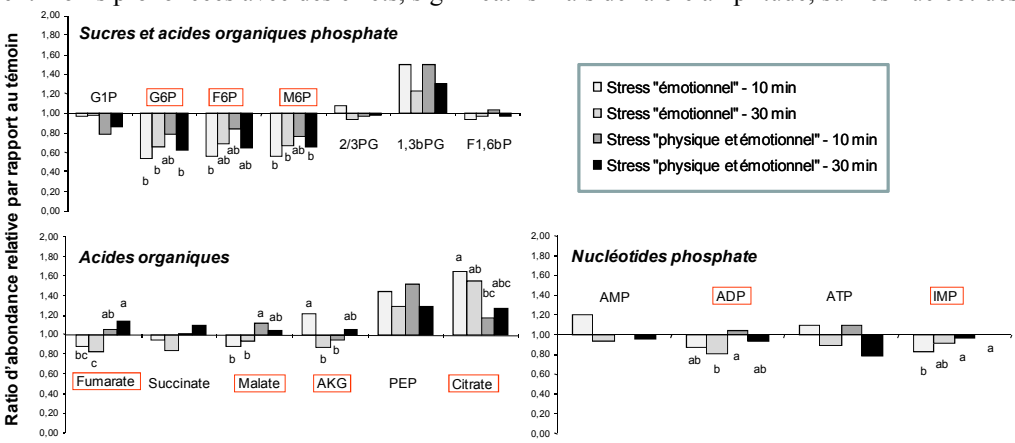


Figure 1: Effet de l'exposition au stress sur l'abondance relative des métabolites musculaires (ratio des abondances dans le test considéré par rapport au témoin). [a,b,c,] indiquent une différence significative entre les moyennes (P<0,05).

Discussion et Conclusion

Ces résultats indiquent que l'exposition des rats au stress génère des réponses hormonales et musculaires, détectables dès 10 min de test pour les profils métaboliques. Les variations d'expression de gènes en réponse au stress émotionnel semblent plus tardives puisqu'elles sont détectées après 30 min de test, suggérant que la réponse initiale se fait indépendamment de la transcription. Elles concernent des gènes codant des protéines impliquées dans le catabolisme protéique, le métabolisme énergétique, et la réponse au stress. Les réponses transcriptomiques et métabolomiques, de faible amplitude, indiquent une activation de la voie glycolytique et du cycle de Krebs. Les différences de réponse entre les types de stress ne sont pas suffisamment marquées pour distinguer des spécificités dans les réponses métaboliques. Ces mécanismes pourraient être impliqués dans les effets du stress sur la qualité de la viande.

Références

El Rammouz R., Letisse F., Durand S., Moussa Z., Portais J.C., Fernandez X., 2010. Analytical Biochem., 398, 169-177.
Terlouw C., Arnould C., Auperin B., Berri C., Le Bihan-Duval E., Lefevre F., Lensink J., Mounier L., 2007. INRA Prod. Anim., 20, 93-100.

FLAVEUR HERBACEE EN VIANDE BOVINE : UNE NOTION BIEN ETABLIE REMISE EN QUESTION.

MESSADENE J., DUFEY P.-A.

Station de recherche Agroscope Liebefeld Posieux ALP
1726 Posieux, Suisse

Introduction

La viande produite à partir de bovins élevés à l'herbe bénéficie généralement d'une image très positive auprès du consommateur. L'herbe constitue en plus un lien au terroir. Toutefois, malgré ces avantages, cette viande est décrite comme ayant une flaveur herbacée ou pastorale intense (Larick et al., 1987; Mandell et al., 1998; Priolo et al., 2001), une flaveur particulière, qui selon plusieurs auteurs (Melton, 1990; Priolo et al., 2001), est peu appréciée lors de tests hédoniques réalisés aux Etats-Unis. A notre connaissance, aucune étude en Europe n'a été réalisée pour confirmer la présence et l'intensité de cette flaveur spécifique, ni si le consommateur européen en a la même appréciation.
Dans le contexte d'une production de viande avec des herbages de montagne riches en plantes de nature très diversifiée, cette viande pourrait exprimer une flaveur herbacée encore plus intense, avec comme corollaire, soit un risque de rejet soit une spécificité appréciée par le consommateur.
Cette étude avait pour but de caractériser sur le plan sensoriel des viandes produites à partir d'herbage de différentes régions en Suisse, de vérifier la présence de cette flaveur herbacée ou pastorale, d'en mesurer l'intensité et finalement, d'évaluer le caractère plaisant ou déplaisant éventuel auprès du consommateur suisse.

Matériel et Méthodes

1er essai : 43 bœufs de la race d'Hérens, ont été engraissés soit sur des herbages, à 1200m d'altitude dans deux régions de montagne, les Alpes Valaisannes et le Jura Suisse, soit avec un ensilage de maïs et luzerne, en stabulation libre, dans un contexte d'engraissement intensif. Ce dernier traitement sert de groupe de contrôle.
2ème essai : 45 bœufs de la race d'Hérens, ont été engraissés dans les mêmes conditions que l'essai précédent, à l'exception des animaux des Alpes Valaisannes qui ont pâturé à 1800m d'altitude.
3ème essai : 36 bœufs et génisses issus de troupeaux allaitants ou laitiers des races d'Hérens (type «rustique»), Angus (type «engraissement») et Holstein (type «laitier») ont été engraissés sur des pâturages en plaine à 630m ou dans les Alpes valaisannes à 1800m d'altitude.

Pour chacun des essais et pour chaque animal, un échantillon du muscle *Longissimus thoracis* (faux-filet) a été soumis à un jury de dégustation composé de huit panelistes entraînés. Ces derniers ont effectué spécifiquement pour cette étude cinq séances d'entraînement et six séances de test sur la matrice expérimentale. Les produits étaient codés et présentés au hasard. Chaque groupe expérimental était représenté dans chaque séance. L'évaluation s'est déroulée dans des cabines individuelles, avec une lumière normale et à une température de 20°C. Les juges ont utilisé du pain blanc et du thé pour se rincer la bouche entre les échantillons.
L'évaluation, sur une échelle non structurée de 10 points, a porté sur la jutosité, la tendreté et sur un profil de flaveur comprenant 10 descripteurs dont la flaveur herbacée. Seuls les résultats liés à la flaveur herbacée seront présentés ci-après.
Les viandes des deux premiers essais ont fait l'objet d'études de préférences auprès de 827 consommateurs lors du Salon suisse des goûts et terroirs de Bulle. Les participants ont goûté trois sortes de viande : une provenant d'animaux n'ayant pas eu accès à la pâture et deux d'animaux ayant pâturé en montagne.

Résultats et discussion

Dans le 1er essai, après deux semaines de maturation, aucune différence quant à la flaveur herbacée ou pastorale n'a pu être mise en évidence entre les régimes alimentaires ou les lieux de production.
Dans le 2ème essai, après trois semaines de maturation, la flaveur herbacée est apparue significativement supérieure ($p<0.05$) chez les animaux ayant pâturé. L'intensité moyenne de cette flaveur s'élève à 2,5 points, soit 0,9 point de plus que le groupe de contrôle (Figure 1). Néanmoins, le niveau d'intensité ainsi que la différence demeurent faibles et ne correspondent pas aux résultats cités dans la littérature, qui sur une échelle semblable se situaient entre 8 et 10 points pour la viande des animaux ayant pâturé (Larick et al., 1987; Priolo et al., 2001).

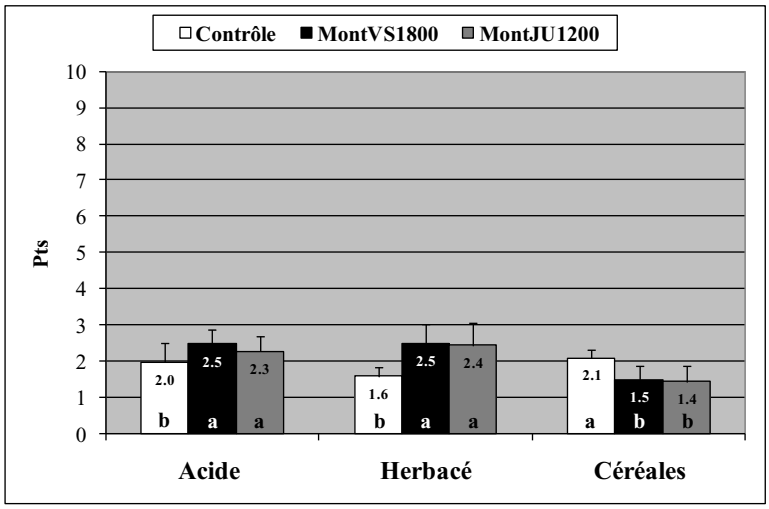


Figure 1 : Intensité (0 à 10) de la flaveur (2e essai) pour les descripteurs acide, herbacé et céréales (profil partiel). Groupe Contrôle : pas d'accès à la pâture. Groupes MontVS1800 et MontJU1200 : pâtures respectivement dans les Alpes valaisannes à 1800 m d'altitude et dans le Jura suisse à 1200 m d'altitude.

Soumises à des consommateurs suisses pour une évaluation hédonique, ces viandes sont appréciées de façon similaire dans le cadre du premier essai, ce qui confirme l'absence de différences observées par l'analyse sensorielle, mais également dans le cadre du deuxième essai. Cela signifie que les différences de flaveur herbacée mises en évidence par l'analyse sensorielle après trois semaines de maturation dans le deuxième essai ne sont pas suffisantes pour être perçues par le consommateur. L'étude du caractère plaisant ou déplaisant de cette flaveur pour le consommateur suisse n'a donc pas pu être réalisée de manière satisfaisante en raison de sa faible intensité dans les viandes des animaux ayant pâturés.

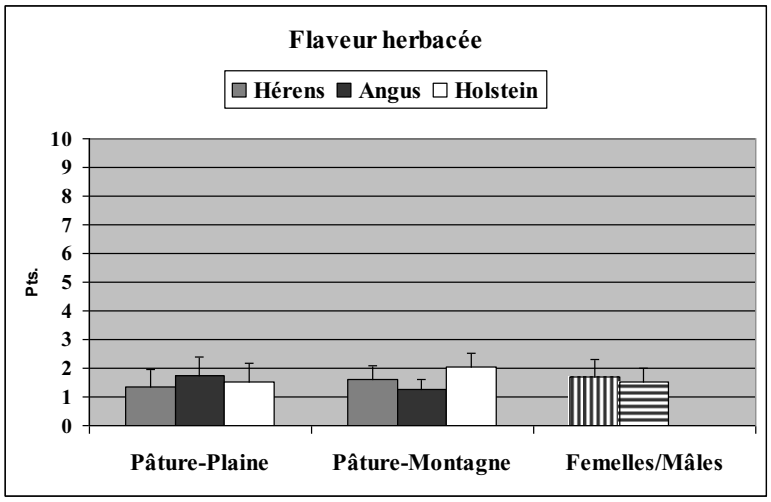


Figure 2 : Intensité de la flaveur herbacée (pts) pour les races Hérens, Angus et Holstein engraissées sur des pâturages de plaine ou de montagne (Alpes valaisannes, 1800m) et pour les sexes mâle et femelle

Le 3e essai avait comme but de valider les résultats des deux premiers essais avec d'autres types de bovins que ceux de la race d'Hérens de type rustique et, également, de tester l'effet éventuel du sexe dans l'apparition de cette flaveur. Comme le montre la figure 2, et pour une maturation de 3 semaines, aucune différence n'apparait entre les races étudiées, entre les sexes et entre les pâturages de plaine et de montagne.

Conclusions

Globalement, la viande des animaux ayant pâturé ne présente pas de caractéristiques sensorielles particulières sur le plan de la flaveur qui permettent une distinction de la part des consommateurs. La flaveur herbacée ou pastorale, peu appréciée dans les études nord- américaines, demeure faible quel que soit la race, le sexe ou le lieu de production. Ainsi, la crainte d'un problème d'acceptance liée à la production d'une viande à partir d'herbages n'a pas lieu d'être dans nos conditions de production, que se soit en plaine ou en montagne. Le caractère plaisant ou déplaisant de cette flaveur n'a pas pu être démontré chez le consommateur suisse ou européen.

Références bibliographiques

Larick D. K., Hedrick H. B., Bailey M. E., Williams J. E., Hancock D. L., Garner G. B., Morrow R. E., 1987. Journal of Food Science 52, 245-251.
Mandell I. B., Buchanan-Smith J. G., Campbell C. P., 1998. Journal of Animal Science 76, 2619-2630.
Melton S. L., 1990. Journal of Animal Science 68, 4421-4435.
Priolo A., Micol D., Agabriel J., 2001. Animal Research 50, 185-200.

TYPAGE DES FIBRES MUSCULAIRES BOVINES SUR COUPES IMMUNO - HISTOLOGIQUES PAR UNE METHODE INNOVANTE D'ANALYSE D'IMAGES

MEUNIER B.[1*], LABAS R.[2*], PICARD B.[1], ASTRUC T.[2]
[1] INRA, UR1213 Herbivores, F-63122 Saint Genès Champanelle, France
[2] INRA, UR370 Qualité des Produits Animaux, F-63122 Saint Genès Champanelle, France

Introduction

La détermination des caractéristiques des fibres musculaires joue un rôle majeur dans les études physiologiques sur le muscle tout comme dans l'étude des mécanismes de transformation des muscles en viande. Les fibres peuvent être classées en fonction de leurs propriétés contractiles et/ou métaboliques. La méthode de classification majeure, basée sur les différences de stabilité entre milieux acide ou basique de la réaction ATPase myofibrillaire (Brooke et Kaiser, 1970), permet la séparation entre les fibres lentes I et les rapides II, ces dernières étant dissociées entre fibres IIA et IIB. L'utilisation plus récente d'anticorps monoclonaux contre les chaînes lourdes de myosine (MyHC) permet une classification plus précise. On a ainsi pu identifier dans les muscles squelettiques du tronc et des membres de bovins la présence des isoformes de chaînes lourdes de myosine de type I, IIa, IIx. (Tanabe et al. 1998). Un intérêt majeur de l'utilisation des anticorps monoclonaux est la mise en évidence de fibres hybrides (I-IIA et IIA-IIX); pour revue voir Pette et Staron (1990). L'immunohistochimie basée sur l'utilisation des anticorps contre les MyHC a déjà été décrit comme une méthode performante de typage des muscles (Quiroz-Rothe et Rivero, 2001)

Toutefois, ces classifications reposent généralement sur une analyse visuelle de différentes coupes transversales sériées, analyse à la fois laborieuse et consommatrice de temps. Profitant des avancées récentes en microscopie de fluorescence et en traitement d'images, cette étude présente le développement d'une méthode semi-automatique permettant d'évaluer précisément le pourcentage des différents types de fibres et leurs caractéristiques morphologiques (Meunier et al. 2010).

Matériel et Méthodes

L'étude a été réalisée sur trois taurillons de 16 mois de race "Blonde Aquitaine". Deux muscles *Semitendinosus* (ST) et *Longissimus thoracis* (LT) sont étudiés par immunohistologie. Le pourtour des cellules est marqué en utilisant un anticorps Ire anti-laminine produit chez le lapin (L9393 Sigma). La révélation du marquage est réalisée par un anticorps II^{re} anti- IgG lapin marqué par Cy3 produit chez la chèvre (111-165-008, Jackson). La caractérisation des différents types de chaines lourdes de myosine est réalisée en utilisant des anticorps monoclonaux produits chez la souris : BA-D5 spécifique de MyHC-I et SC-71 spécifique de MyHC-II sont produits par DSMZ (Braunschweig, Allemagne). L'anticorps S5-8H2 qui révèle à la fois MyHC-I et MyHC IIx est produit par Agro-Bio (La Ferté Saint Aubin, France). Les différentes isoformes de myosines sont révélées par un anticorps secondaire anti-IgG de souris marqué avec Alexa Fluor 488 produit chez la chèvre (A11001, Invitrogen).

Les coupes histologiques sont visualisées à l'aide d'un microscope à fluorescence Olympus BX 61 avec un objectif 10x en utilisant les filtres appropriés. Les images sont acquises avec une caméra numérique DP71 et le logiciel d'acquisition Cell F (Olympus Soft Imaging Solutions). Le traitement d'images est réalisé par un algorithme en visual basic (FibTypFluo), développé au sein de l'Unité et utilisant le logiciel Visilog 6.7 (Noesis, France). Cinq champs répartis aléatoirement sont analysés sur chaque coupe sériée.

Afin de valider cette méthode de classification, nous avons comparé le typage des fibres à celui effectué après une séparation des différentes isoformes de MyHC par électrophorèse. En particulier, si l'on retrouve bien les 3 isoformes typiques de MyHC I, IIa et IIx, les muscles utilisés ne présentent pas de MyHC de type IIb, mais récemment observées pour 22% des animaux étudiés dans la race "Blonde Aquitaine" (Picard & Cassar Malek, 2009). Le pourcentage d'expression de chaque type de MyHC a été déterminé par densitométrie (logiciel ImageQuant TL v2003, GE Healthcare Europe GmbH).

Résultats et discussion

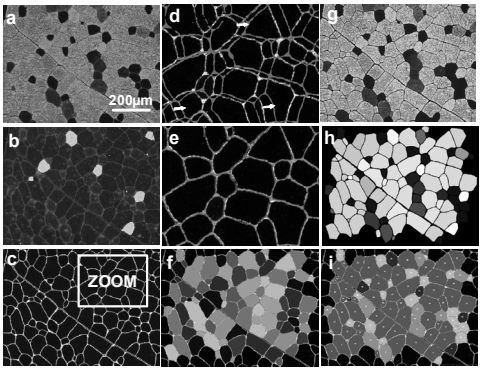
Pour chaque champ observé correspondant aux différents anticorps BA-D5, SC-71 et S5-8H2 une image de synthèse en fausse couleur est réalisée correspondant à l'acquisition automatisée séquentielle en niveau de gris des fluorescences respectives de Cy3 (rouge) révélant la laminine et de l'Alexa fluor 488 (vert) révélant les différentes isoformes de MyHC. BA-D5 permet de caractériser les fibres de type I (Figure 1b). Les fibres négatives ne sont pas de type I y compris les fibres hybrides I-IIA. SC-71 donne une image complémentaire de celle obtenue avec BA-D5. Ce marquage n'est pas nécessaire en routine pour évaluer les différents types de fibres excepté pour les fibres hybrides I-IIA très exceptionnelles (non prises en compte dans cette étude). S5-8H2

[*] Contacts : bruno.meunier@clermont.inra.fr & roland.labas@clermont.inra.fr

marque à la fois les fibres I et IIX (Figure 1a). Les cellules non marquées correspondent à des fibres IIA pures. Les cellules marquées avec S5-8H2 et non marquées avec BA-D5 correspondent aux fibres IIX pures pour les plus fluorescentes ou aux fibres hybrides IIA-IIX pour les fluorescences intermédiaires.
Les étapes chronologiques suivantes de traitement d'images sont mises en jeu avec le logiciel Visilog. La composante laminine du marquage S5-8H2 servant de référence est recalée avec l'image laminine du marquage BA-D5 en utilisant une dizaine de points de recalage et un outil de correction des distorsions (Figure 1d-e). Cette image laminine de référence en niveau de gris est également utilisée pour automatiquement segmenter l'ensemble des cellules du muscle (Figure 1c-f) identifiées par des couleurs différentes aléatoires. Les cellules incomplètes touchant le bord sont éliminées. Il est possible à ce niveau de corriger manuellement une mauvaise segmentation avant le calcul des caractéristiques morphologiques de chaque fibre telle que la surface. Dans chaque champ, en moyenne 120 fibres sont caractérisées. L'image initiale du marquage S5-8H2 (Figure 1g) couplée à l'image de caractérisation de l'ensemble des fibres (Figure 1f) permet de définir une fluorescence moyenne pour chaque fibre (Figure 1h) : fibres positives blanches, fibres hybrides intermédiaires grises, fibres négatives noires. Un double seuillage permet de dissocier ces fibres hybrides (IIA-IIX) des fibres pures noires (IIA) ou blanches (I ou IIX). La distinction entre les fibres I et IIX est réalisée en prenant en compte le résultat du marquage BA-D5 ou les fibres I apparaissent fluorescentes et les fibres II noires. La prise en compte de l'ensemble de ces marquages aboutit à la caractérisation précise par une couleur spécifique de son type de chaque fibre du champ (Figure 1i).

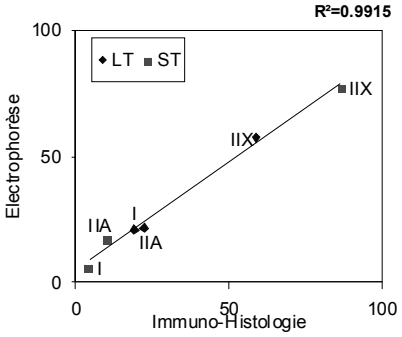
Conclusion

L'application de ce programme permet de suivre l'évolution progressive de la surface des fibres lors du passage des fibres de type I aux fibres IIX, le muscle ST présentant des fibres de taille supérieure (Tableau 1). Nos résultats corroborent ceux de la littérature quant à la répartition des différents types de fibres entre les muscles LT et ST, ce dernier étant majoritairement formé de fibres IIX (Tableau 2). Ils ont été validés par le typage des muscles par électrophorèse. Une représentation des différents pourcentages d'expression des formes I, IIa et IIx (les formes hybrides identifiées par histologie, étant réparties à 50-50% entre les 2 formes pures les constituant) permet de retrouver une similitude des résultats obtenus entre les 2 méthodes (Figure 2). De plus, la méthode semi-automatique de classification que nous proposons permet d'envisager une analyse en routine sur un grand nombre de fibres; en effet 45 minutes sont nécessaires pour analyser un échantillon (~7,5 min pour 100 fibres).



← Figure 1: Différentes étapes de traitement des images en utilisant le programme FibTypFluo.

→ Figure 2: Corrélation entre l'expression relative des différentes isoformes de MyHC déterminée dans le LT et le ST par la méthode histologique et la méthode électrophorétique.



	Muscle	Type de fibre			
		I	IIA	IIA-IIX	IIX
Proportion* (%)	LT	36[a]	16[b]	14[b]	34[a]
	ST	8[c]	14[b]	10[b]	68[d]

Tableau 2: Proportion des différents types de fibres entre les muscles LT et ST.

	Muscle	Type de fibre			
		I	IIA	IIA-IIX	IIX
Aire en µm² (E.S.)*	LT	1484 (24)[a]	1743 (48)[b]	2512 (75)[d]	3628 (62)[d]
	ST	1717 (93)[b]	1488 (64)[a]	2775 (130)[c]	4263 (67)[e]

Tableau 1: Aire moyenne (Erreur Standard) des fibres en relation avec leur type métabolique entre les muscles LT et ST.

** Les lettres indiquent des moyennes significativement différentes (p<0.05)*

Références bibliographiques

Brooke MH, Kaiser KK (1970) Muscle fiber types: how many and what kind? Arch Neurol 23:369-379
Meunier B, Picard B, Astruc T, Labas R (2010) Development of image analysis tool for the classification of muscle fibre type using immunohistochemical staining. Histochem Cell Biol 134:307-317
Pette D, Staron RS (1990) Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. Rev Physiol Biochem Pharmacol 116:1-76
Picard B, Cassar-Malek I (2009) Evidence for expression of IIb myosin heavy chain isoform in some skeletal muscles of Blonde d'Aquitaine bulls. Meat Sci 82:30-36
Quiroz-Rothe E, Rivero JLL (2001) Co-ordinated expression of contractile and non-contractile features of control equine muscle fibre types characterised by immunostaining of myosin heavy chains. Histochem Cell Biol 116:299-312
Tanabe, R., Muroya, S., Chikuni, K. (1998). Sequencing of the 2a, 2x and slow isoforms of the bovine myosin heavy chain and the different expression among muscles. Mammalian Genome, 9 : 1056-1058

DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE D'ANALYSE D'IMAGES POUR LA MESURE DES CARACTERISTIQUES STRUCTURALES DU MUSCLE BOVIN

DUBOST A.[1], MEUNIER B.[1], MICOL D.[1], BOTIAUX C.[1], LISTRAT A.[1]

[1] UR1213 Herbivores, Equipe Croissance et Métabolisme du Muscle, INRA Clermont-Ferrand / Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle

Introduction

La quantité et la structure du tissu conjonctif intramusculaire (TCIM), composé de périmysium et d'endomysium, ainsi que les caractéristiques telles que taille et nombre des fibres musculaires varient d'un muscle et d'une race à l'autre et sont impliquées dans le déterminisme de la tendreté de la viande bovine (Purslow, 2005).
L'objectif de notre étude est de développer une méthode d'analyse d'images multi-échelle du TCIM et des fibres musculaires, à partir d'une coloration histologique de coupes de muscles, qui permette d'étudier à l'échelle microscopique des structures de l'ordre du µm (fibre musculaire, endomysium, périmysium d'ordre primaire) et des structures de l'ordre du mm (faisceau de fibres et périmysium d'ordre supérieur au primaire) du muscle bovin.

Matériels et méthodes

Echantillonnage et coloration histologique :
Des échantillons de muscles *Longissimus Thoracis* (LT), *Semimembranosus* (SM) et *Biceps Femoris* (BF) ont été prélevés après abattage sur des animaux des races Aberdeen Angus (AA), Limousine (LIM) et Blonde d'Aquitaine (BA). Afin de développer et valider notre méthode d'analyse, un échantillonnage de 5 animaux par race et par muscle a été retenu. Pour chaque échantillon, une coupe histologique de 10 x 10 mm, perpendiculaire aux fibres musculaires, a été réalisée à l'aide d'un Cryotome (HM 500M, MICROM, France) maintenu à -25°C. Les coupes ont ensuite été colorées selon la méthode du Rouge Sirius, permettant la révélation de l'architecture structurale du muscle, le TCIM étant coloré en rouge et les fibres musculaires en jaune (Flint et Pickering, 1984).

Acquisition et analyse des images :
Les images ont été prises avec un objectif 4x et à très haute résolution (8280 x 6192 pixels, soit un champ de vision de 4,45 x 3,33 mm avec une résolution de 0,5378 µm/pixel) à l'aide d'un microscope Olympus BX51, couplé à une caméra couleur DP-72. Les images ont été acquises grâce au logiciel Cell-D (Olympus, Japon). Pour chaque coupe, trois zones d'étude ont été choisies afin d'échantillonner l'ensemble de la coupe. Chacune de ces zones d'étude est composée de 4 images afin de visualiser le plus objectivement possible la structure du TCIM tout en ayant une taille d'image en pixels compatible pour l'analyse ultérieure.
Les images ont été analysées grâce au logiciel Visilog 6.7 (Noesis, France). Elles ont été segmentées une première fois de façon à obtenir la trame conjonctive totale (périmysium et endomysium confondus) (Fig. 1A), puis plusieurs autres fois de façon à différencier le périmysium (Fig. 1B, a), l'endomysium (Fig. 1B, b) et les fibres musculaires (Fig. 1B, c).

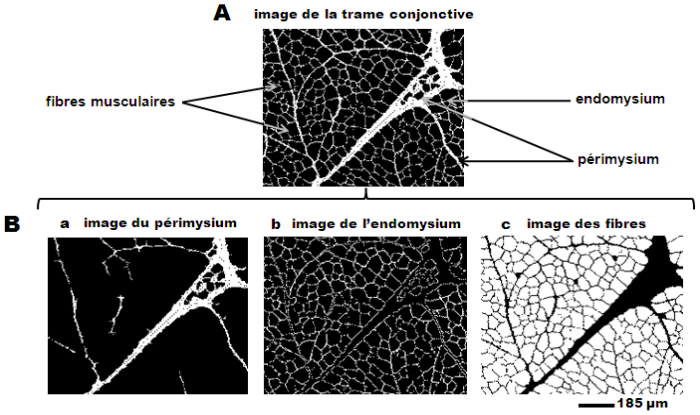


Figure 1 : A. Image de la trame conjonctive totale obtenue après segmentation de l'image d'origine colorée au Rouge Sirius. Le périmysium et l'endomysium apparaissent en blanc, tandis que les fibres musculaires apparaissent en noir. **B.** Segmentation de l'image A, de façon à différencier le périmysium (a), l'endomysium (b), les fibres musculaires (c).

Résultats et discussion

Le choix de travailler à très haute résolution et d'acquérir les images à l'objectif 4x nous permet d'accéder aux structures les plus grossières (périmysium d'ordre secondaire, tertiaire) tout en ayant aussi accès aux structures les plus fines (endomysium, fibre).
Lors de l'étape de segmentation de la trame conjonctive en périmysium, endomysium et fibres, le fait de travailler avec des structures de l'ordre du µm et du mm n'a pas été simple. En effet, du fait d'un manque de contraste sur certaines zones des coupes dû à la coloration, l'endomysium n'est pas toujours reconnu, créant ainsi une perte d'information. L'endomysium étant la structure conjonctive enveloppant séparément chaque fibre musculaire, l'individualisation des

fibres dans les zones moins contrastées n'est pas possible. De plus, le périmysium et l'endomysium étant colorés tous les deux en rouge, il devient impossible de distinguer l'endomysium du périmysium fin délimitant le faisceau de fibres primaire.
Différents paramètres sont extraits à partir de l'analyse des images. Pour le TCIM : aire et volume de la trame conjonctive totale, du périmysium, de l'endomysium et épaisseur de l'endomysium. Pour la fibre musculaire : surface, périmètre, forme et densité (nombre de fibres par unité de surface). Pour chaque paramètre, la valeur moyenne obtenue à partir des 3 zones d'étude traitées est utilisée pour l'analyse statistique.
L'étude de la projection des variables (paramètres extraits) sur le cercle des corrélations de l'Analyse en Composantes Principales (Fig. 2A) révèle que les paramètres du TCIM sont positivement corrélés entre eux. Ainsi, par exemple, si l'aire occupée par le périmysium augmente, il en est de même pour les autres paramètres du TCIM. La même observation se vérifie pour les paramètres des fibres (surface, périmètre et forme). Par contre, la densité de fibres est négativement corrélée à ces paramètres, ce qui signifie que si la surface occupée par les fibres augmente, le nombre de fibres diminue. Ces observations montrent que les données obtenues pour nos différents paramètres sont rationnelles et peuvent donc être considérés comme acceptables.

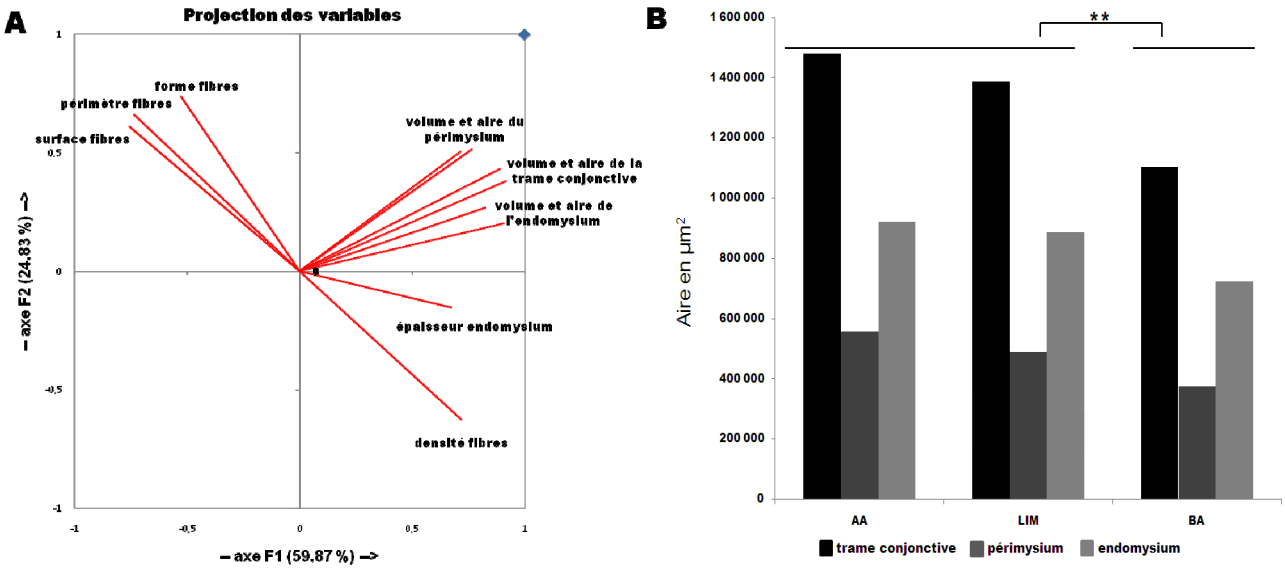


Figure 2 : **A.** Projection des variables (paramètres du TCIM et des fibres pour les 5 animaux des 3 races et des 3 muscles étudiés) sur le plan principal de l'Analyse en Composantes Principales. **B**. Représentation graphique des valeurs des aires (en µm²) de la trame conjonctive totale, du périmysium et de l'endomysium pour les 3 races : Aberdeen Angus (AA), Blonde d'Aquitaine (BA) et Limousine (LIM) (** $P < 0,01$).

L'étude en parallèle des données obtenues pour les aires de la trame conjonctive totale, le périmysium et l'endomysium (Fig. 2B) montre que la surface occupée par le TCIM pour les animaux AA et LIM est significativement plus importante ($P < 0,01$) que pour les animaux BA. Ce résultat est cohérent puisque les BA présentent une hypertrophie musculaire (non liée à une mutation de la myostatine) (Listrat, 2001), caractéristique associée à une moindre teneur en TCIM (Dumont et Schmitt, 1973).

Conclusion

L'originalité de notre approche réside dans l'étude conjointe de paramètres de structure du muscle bovin, paramètres définis soit à l'échelle du µm (fibre et endomysium) soit à l'échelle du mm (périmysium). Le premier aspect consistait à développer et valider notre approche à partir d'un modèle expérimental initial. Au vue des premières observations faites, notre approche s'avère cohérente avec la littérature et donc concluante et sera utilisée pour analyser un ensemble plus large d'échantillons. Le second aspect consiste maintenant à étudier le niveau de structure le plus grossier (de l'ordre de plusieurs mm) : les faisceaux d'ordre primaire, secondaire et voire tertiaire.
A terme, les données caractérisant le TCIM et les fibres musculaires, obtenues par cette méthode d'analyse d'images, seront confrontées aux données biochimiques du muscle (teneur en collagène et en cross-links, propriétés des fibres) et aux mesures mécanique et sensorielle de la tendreté.

Références bibliographiques

Dumont B. L., Schmitt O. 1973. Ann. Genet. Sel. Anim., 5, 499-506.
Flint F. O., Pickering K. 1984. Analyst, 109, 1505-1506.
Listrat A., Picard B., Jailler R., Collignon H., Peccatte J. R., Micol D., Geay Y., Dozias D. 2001. Anim. Res., 50, 105-118.
Purslow P. P. 2005. Meat Sci., 70, 435-447.

INDEX DES AUTEURS

Achi-Barnouin, T. 165
Adolphe, Y. 169
Ahounou, S. 175, 185, 217
Aït Kaddour, A. 187
Allais, L. 155
Allais, S. 219
Arturo-Schaan, M. 57
Astruc, T. 103, 125, 243
Aubry, L. 33, 59
Baccaunaud, M. 113
Baéza, E. 69, 215
Barboiron, C. 235
Bastianelli, D. 69
Bastide, N. 23
Bauchart, D. 35, 39, 67, 101, 137, 219
Bax, M.-L. 33
Belard, F. 39
Ben Hammouda, M. 49
Benatmane, F. 53
Benet, M. 45, 55
Bergaoui, R. 49
Bernard-Capel, C. 219
Bernardi, T. 181
Berri, C. 201, 215
Bonnet, M. 193
Bonny, J.-M. 101
Bordat, C. 153
Bordeau, T. 215
Botiaux, C. 245
Boubellouta, T. 187
Bouderoua, K. 43
Bourbab, M. 183
Bozec, A. 171, 173
Brisbare, F. 113
Brun, J.-P. 237
Bugeon, J. 215
Cartier, P. 155
Casenave, E. 215
Cassar-Malek, I. 183, 211, 213, 215, 219
Cazes-Valette, G. 13
Chacornac, J.-P. 157
Chadeyron, D. 231
Chamot, S. 181
Champomier-Verges, M. 153, 165
Chartrin, P. 69
Chavant, P. 181
Chavatte-Palmer, P. 213
Cheret, R. 105
Cherfaoui, M. 221
Chesneau, G. 51
Chevallier, I. 187
Chevarin, C. 101
Chilliard, Y. 193
Choubert, G. 91, 113
Chriki, S. 237
Christieans, S. 119, 157, 165, 179
Clerjon, S. 101
Clinquart, A. 169
Cointault, F. 227
Comte, B. 67
Corpet, D.E. 23
Cossoul, C. 67
Coton, E. 165
Dahoiuda, M. 217
Daube, G. 169
Daudin, J.-D. 61, 103, 117, 127, 129
De La Foye, A. 221, 223, 239
De Lamballerie, M. 105
De S, R. 47
Delhalle, L. 169
Denis, C. 165, 179
Denoyelle, C. 211, 219
Desvaux, M. 181
Djelveh, G. 131
Djenane, D. 167
Dublanchet, J. 129
Dubost, A. 245
Duclos, M. 201
Dufey, P.-A. 241
Duhutrel, P. 153
Dumont, R. 213
Durand, D. 35, 39, 41, 67, 221, 229
Durand, Y. 213
Duranton, F. 105
Dussap, C.-G. 117
El-Affifi, M. 43
Elayeb, H. 49
Ellouze, M. 141, 171, 173
Enguehard, S. 177
Evrat-Georgel, C. 211
Faure, P. 229
Federighi, M. 105
Fernandez, X. 239
Feurer, C. 165
Fillaut, M. 47, 53
Fontagné-Dicharry, S. 65
Fontanille, P. 189
Foret, R. 57
Frencia, J.-P. 115
Froelich, D. 73
Gatellier, P. 33, 59, 61, 103, 125
Gault, E. 135
Gentes, G. 239
Gesan-Guiziou, G. 73
Gigaud, V. 69, 215
Gladine, C. 67
Gobert, M. 67
Gondret, F. 193
Groelly, J. 181
Gros, J.-B. 109
Gruffat, D. 39, 221
Guibert, J.-M. 51
Guillemin, N. 233
Guillevic, M. 51

Guillomot, M. 223
Guillou, S. 105
Habeanu, M. 35
Hamon, E. 165
Hebraud, M. 181
Heyman, Y. 223
Hocquette, J.-F. 219, 221, 229, 231, 233, 235, 237
Hue, I. 223
Idaomar, M. 183
Idrissou, N.-D. 217
Irlinger, F. 165
Jailler, R. 229
Jamet, E. 165
Jasick, A. 169
Jaworska, D. 59
Jaÿ, M. 163
Joly, C. 67
Jouanno, M. 227
Journaux, L. 219, 237
Juin, H. 41
Jurie, C. 223, 229, 231, 233, 235, 237
Kajak-Siemaszko, K. 59
Kammoun, M. 231, 235
Khalil, D. 127
Kondjoyan, A. 101, 109, 127, 137
Kouba, M. 53
Kpodekon, M. 185, 217
Kraiem, K. 37
Labas, R. 243
Lagarrigue, S. 201
Lapendrie, A. 123, 133
Laroche, M. 161, 163
Larroche, C. 189
Lataillade, E. 65
Le Bihan-Duval, E. 201
Le Fur, B. 83
Le Roux, A. 135, 171, 173
Lebas, N. 159
Lebert, A. 63, 117, 137
Lefaucheur, L. 213
Lefèvre, F. 215
Legrand, I. 107
Lemoine, E. 109
Leroi, F. 165
Leroy, M.-L. 189
Leroy, S. 147, 157, 165
Levéziel, H. 219
Lhommeau, T. 135
Listrat, A. 223, 245
Louveau, I. 193
Lyan, B. 35
Magras, C. 161, 163
Mairesse, G. 41, 51, 55, 63
Majdoub-Mathlouthi, L. 37, 49
Malayrat, C. 155
Marinova, P. 125
Martin, J.-L. 135
Mathlouthi, N. 49
Membré, J.-M. 163
Messadene, J. 241
Meunier, B. 223, 243, 245
Michaud, P. 119
Michon, P. 121
Micol, D. 213, 229, 231, 233, 235, 237, 245
Mirade, P.-S. 129
Montel, M.-C. 165
Mourot, J. 41, 43, 47, 53, 55, 57, 63
Nadaf, J. 201
Nguyen, D.N. 105
Normand, J. 35, 211
Oillic, S. 109
Omont, S. 73
Ortigues-Marty, I. 39
Oury, M.P. 213
Paboeuf, G. 225
Paoli, J.-N. 227
Parafita, E. 115, 123, 133
Parfouru, D. 113
Peyrin, F. 103
Picard, B. 193, 221, 223, 229, 231, 233, 235, 237, 239, 243
Picgirard, L. 111, 129
Pierre, F. 23
Pierret, P. 227
Pilet, M.-F. 165
Pitel, F. 201
Portanguen, S. 101, 137
Pottinger, T. 225
Promeyrat, A. 61
Przybylski, W. 59
Pujos-Guillot, E. 67
Quillard, F. 213
Quinon, E. 181
Recoules, E. 107
Reichstadt, M. 237
Remond, D. 33
Renand, G. 219, 233
Rispal, O. 111
Rivollier, M. 119, 165
Robin, G. 47, 53
Rognon, X. 217
Roncales, P. 167
Rousseau, X. 69
Royer, E. 159
Rubat, E. 211
Rudel, S. 229
Saïd, B. 37
Salifou, C. F.A. 175, 185
Salifou, S. 175
Sandra, O. 223
Santé-Lhoutellier, V. 33, 59, 61, 125
Saunier, C. 119
Selmane, D. 131
Senou, M. 217
Sharedeh, D. 103
Sibut, V. 201
Simonin, H. 105
Spinnler, E. 165
Stahl, V. 165, 179
Surget, A. 65
Talon, R. 147, 157, 165

Terlouw, C. 239
Thomas, A. 35, 101
Tixier-Boichard, M. 217
Tougan, U. 175, 185, 217
Traoré, S. 59
Turin, F. 211
Vautier, A. 135
Vendeuvre, J.-L. 135
Vénien, A. 125
Vernet, J. 39
Vial, C. 131
Vialter, S. 121
Vignon, X. 223
Wacogne, D. 165
Weill, P. 51
Yanguela, J. 167
Youssao, I. 175, 185, 217
Zagorec, M. 153, 165
Zuliani, V. 171, 173

Notes personnelles

Revue bimestrielle fondée
par l'Association pour
le Développement de l'Institut
de la Viande (ADIV)
ISSN : 0241.0389

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Nicolas JABY- ADIV Clermont-Fd

RÉDACTEUR EN CHEF
Nicolas JABY- ADIV Clermont-Fd

Site Internet
http ://www.viandes-et-produits-carnes.info

ADIV
ZAC Parc Industriel des Gravanches
10 Rue Jacqueline Auriol
63039 Clermont-Ferrand cedex 2
Tél. 04 73 98 53 80 - Fax 04 73 98 53 85

Hors série
3ème trimestre 2010

Le numéro : 20 euros
(N° spécial : 46 euros)

Abonnements : le Volume (4 numéros) :
France 91 euros - Étranger 97 euros

Viandes et Produits Carnés est répertoriée dans Food Science and Technology Abstracts.

N° de Commission Paritaire : 0411G87232

VIANDES & PRODUITS CARNES

Revue créée par l'ADIV, publiée par :

ADIV
Association pour le Développement
de l'Institut de la Viande

CTCPA
Centre Technique de la Conservation des
Produits Agricoles

IFIP
Institut Technique du Porc

INRA
Institut National de la Recherche
Agronomique

INSTITUT DE L'ELEVAGE

ITAVI
Institut Technique de l'Aviculture et de
l'Elevage des Petits Animaux

Sous l'égide de :

FRANCEAGRIMER